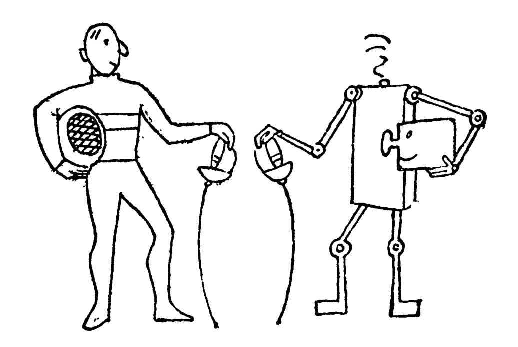
ЗНАКОМЬТЕСЬ — РОБОТЫ!

И. АРТОБОЛЕВСКИЙ
А. КОБРИНСКИЙ



И. АРТОБОЛЕВСКИЙ, А. КОБРИНСКИЙ

ЗНАКОМЬТЕСЬ — РОБОТЫ!



МОСКВА
„МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ"
1979

32.81
А 86

ИЗДАНИЕ 2-е

А $\frac{70302 - 089}{078(02) - 79}$ Без объявл. 2404000000

ОРГАНИЗОВАТЬ СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО АВТОМАТИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗИРОВАТЬ И АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ТЯЖЕЛЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И МОНОТОННЫЕ РАБОТЫ.

«Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы»

ОТ АВТОРОВ

Какова будет техника завтрашнего дня, какие машины будущего надо уже сегодня изобретать, разрабатывать, проектировать, строить?

В области современной науки и техники нет более важного вопроса. Важного во всех отношениях! Ведь от того, насколько правильно он будет решен, во многом зависит и благосостояние нашего государства, и его уверенность в завтрашнем дне.

И вероятно, нет более сложного вопроса. Будущее измеряют разными масштабами. Будущее — это конец десятой пятилетки, будущее — это конец XX века, будущее — это еще более отдаленные времена. Каждому понятно, что чем дальше пытаться заглянуть в будущее техники, тем сложнее увидеть, разглядеть технику этого будущего. Но это необходимо.

Техника конца десятой пятилетки создается сегодня. Мы уже знаем, какие машины, автоматы, автоматические линии и комплексы будут работать на благо советского человека в одиннадцатой пятилетке. Партия и правительство, планируя будущее научно-технического прогресса в нашей стране, поставили перед учеными и инженерами задачу определить технические перспективы на 15—20—25 лет вперед!

Решить эту задачу — значит направить по правильному пути мысль и труд тысяч, миллионов людей — рабочих, инженеров, ученых. Правильность научного предвидения, точность технических прогнозов приобретают все большее значение по мере того, как развивается и совершенствуется человеческое общество.

Леонардо да Винчи в своих дневниках и записках рисовал и рассчитывал машины будущего — сложные грузоподъемные машины, самолеты и другие. Но его технические прогнозы мало интересовали его современников. Техника средневековья делалась руками ремесленника, технический прогноз был его личным делом, занимаясь им, он не хотел и не мог заглядывать далеко вперед.

В условиях капитализма технический прогноз — частное дело фирмы. Ее благосостояние, само ее существование во многом зависят от того, насколько успешно она сумеет утаить от конкурентов свои соображения по поводу конкретной техники будущего.

В социалистическом обществе вопросы прогнозирования приобретают общенародное государственное значение. Они решаются большими коллективами ученых и инженеров, требуют от них эрудиции, высокой квалификации, умения заглянуть вперед. Технический прогноз — коллективное предсказание будущего техники,

многократно взвешенное на обсуждениях и совещаниях различного уровня.

И вот что интересно. В какой бы научно-технический прогноз мы сегодня ни заглянули, обязательно встретим там среди наиболее перспективных технических средств машины и системы робототехники.

Роботы! Слово это давно нам знакомо по фантастическим рассказам и романам. А сегодня оно встречается в учебниках, монографиях, научных и газетных статьях, технических прогнозах.

Мы уже привыкли к тому, что термин, рожденный в той или иной области науки или техники, становится затем достоянием фантастической, популярной, художественной литературы. Вспомните такие слова, как «атом» и «спутник». Но чтобы слово, родившееся в фантастическом произведении, стало общепринятым научным и техническим термином — случается очень редко. Так произошло со словом «робот». Мы не смогли вспомнить других широкоизвестных терминов с такой удивительной судьбой.

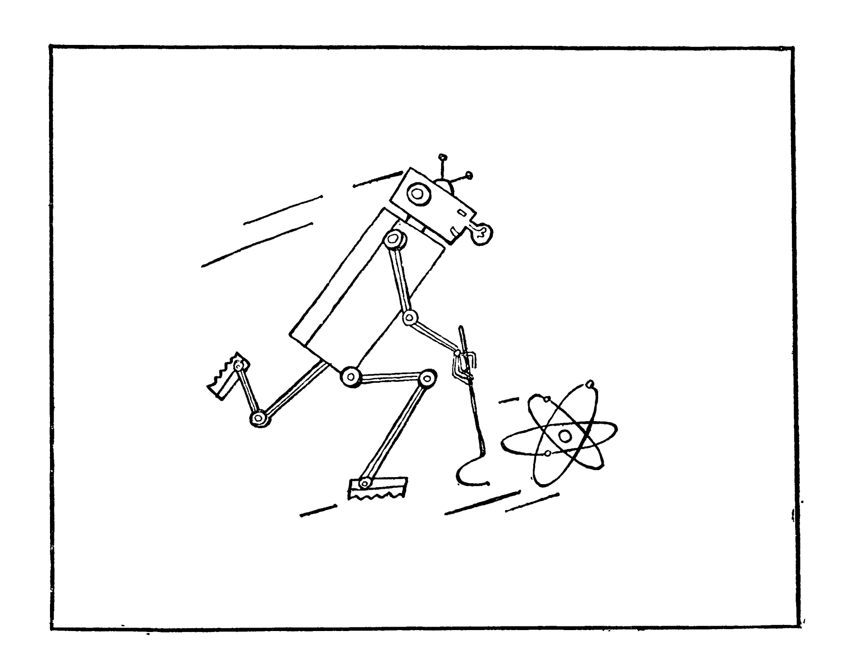
Решив написать популярную книгу о роботах, мы встретились с уникальной ситуацией: мы взялись рассказывать о машинах и автоматах, в общем непохожих на тех роботов, которые «живут» в литературных произведениях, и в то же время должны объяснять, почему их все-таки называют роботами?

Обсуждая эту ситуацию, мы с сожалением вынуждены были отказаться от наиболее простого для нас выхода — не упоминая ни единым словом о роботах, которых вам рисует ваше воображение, окунуться в подробности устройства и действия тех роботов, о которых идет речь во всех технических прогнозах, и поступить иначе.

Прежде всего мы дали себе клятву, что в книге не будет ни одного уравнения и ни одной формулы и что она будет понятна каждому читателю, даже мало знакомому с актуальными современными техническими проблемами. А кроме того, нам хотелось, чтобы читать ее было не только легко, но еще и интересно, а иногда даже весело. Но, конечно, книга ни в коем случае не должна терять при этом серьезности и содержательности. Короче говоря, она должна быть серьезной не в ущерб занимательности, занимательной не в ущерб серьезности.

Воодушевленные этими благими намерениями, мы взялись за дело. И чтобы сразу же взять быка за рога, решили с самого начала ответить на вопрос: «Что такое робот?»

ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ



ЧТО ТАКОЕ РОБОТ?

Некоего древнеримского схоласта (схоласт, латин. scholasticus — философ с уклоном в буквоедство, начетничество и бесплодное умствование), часто возвращавшегося домой в нетрезвом состоянии, супруга обычно встречала восклицанием: «Опять напился, винолентус!»

Однажды, вместо того чтобы пропустить привычную тираду мимо ушей, схоласт принял оскорбленный вид и попробовал доказать, что он не пьян. Будучи силен в дискуссии, он начал искать подходящую половицу, чтобы, пройдя по ней, показать свою способность сохранять равновесие, но разъяренная матрона не позволила увлечь себя на смутный путь аксиом, теорем и доказательств. Вместо этого она схватила схоласта за тогу, подтащила к окну и обратилась с вопросом к проходившему мимо жрецу: «Скажи, отец, человек, которого я держу за шиворот, пьян или нет?»

Жрец посмотрел схоласту в глаза, кротко сказал: «Да, пьян!» — и, качаясь, пошел дальше.

«Это не доказательство», — запротестовал схоласт.

Тогда женщина с тем же вопросом обратилась к знатному римлянину, шедшему с факелом под мышкой. Тот молча достал спички из кармана тоги, зажег факел и приблизил его к схоласту. Дыхание схоласта вспыхнуло клубом огня, а знатный римлянин строго спросил: «Зачем ты, женщина, задаешь мне глупые вопросы и заставляешь тратить спички, которые мне нужны для более важного дела?»

Но схоласт сказал: «Это не доказательство».

В это время мимо проходил патриций, ведший под уздцы коня. Остановленный вопросом женщины, он взглянул на своего спутника. Конь, почуяв дыхание схоласта, брезгливо поморщился и отвернулся.

«Ты видишь наш ответ, — произнес патриций, — не задерживай нас больше, мы спешим в сенат».

«Это еще тоже не доказательство», — пробормотал схоласт.

И тогда женщина тем же вопросом остановила трех пеших всадников, один из которых тащил на себе седло, второй нес уздечку, третий — шпоры.

Все трое, как один, завистливо потянули носами и хором сказали: «Твой муж, благородная матрона, уже пьян, а мы еще только идем на очень важный симпозиум». (Симпозиум в Древнем Риме — времяпрепровождение, сопровождавшееся выпивкой и беседами.)

Тут женщина торжествующе вскричала: «Если семеро экспертов утверждают, что ты пьян, — ложись спать!»

Такова приблизительная история изобретения простой древнеримской женщиной метода экспертных оценок, нашедшего отражение в древнеримском (и не только в древнеримском!) фольклоре.

Эту историю мы вспомнили в связи с историей другого изобретения, имеющего непосредственное отношение к нашей книге.

Свыше 50 лет назад чешский писатель Карел Чапек «изобрел» робота — копию человека, выполненную по его образу и подобию, но обладающую нечеловеческими чувствами и свойствами, и сделал роботов главными действующими лицами литературного произведения. Они стали крайне популярными и начали размножаться с поразительной скоростью. Вскоре каждый мало-мальски

уважающий себя фантаст обзавелся роботами, сотворенными по придуманному им образу и подобию. У каждого были свои роботы, непохожие на чужих, и в этом не было ничего необычного. Ведь множество других образов, понятий и терминов часто толкуются разными людьми по-разному без каких-либо вредных от этого последствий.

Но вот спустя еще некоторое время роботы неожиданно появились в технических записках, проектах, научных статьях, ими стали заниматься инженеры и ученые. И тут с самого начала робототехники дело сразу запуталось.

Пока робот существовал только в воображении людей и в литературных произведениях, кому могло прийти в голову требовать точного определения термина «робот» или тем более выяснять подробности его устройства? Да и у кого требовать? У кого выяснять? И зачем? Пусть о придуманном роботе каждый думает все, что хочет!

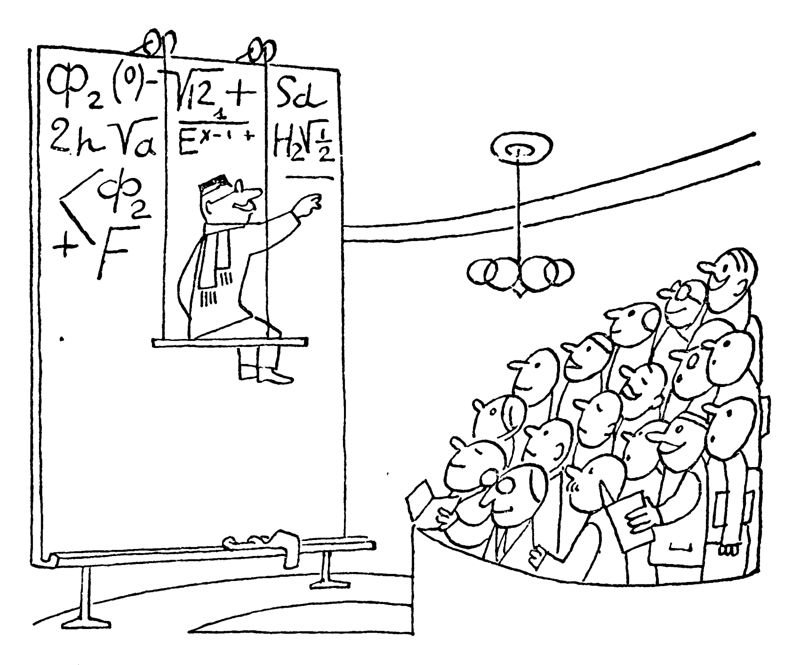
Однако, как только нечто воображаемое становится чем-то реальным, начинает представлять технический, экономический, социальный или научный интерес, сразу же возникает естественное желание знать, насколько это реальное похоже на воображаемое? На чье воображаемое, наше или ваше, оно похоже?

Чем больше обещает воображаемое, тем громче и настойчивее эти вопросы.

Роботы? Вот это здорово!!! А что такое робот? На что он похож? Что он может? Часы — робот? Ах, роботы заменяют человека? А почему электромясорубка не робот? Она ведь работает вместо человека? А электростанция — робот? Почему нет? Что же такое робот? Ах, вы в точности не знаете, что это такое? Значит, вы сами не знаете, чем занимаетесь? Вот как?

Замечаете, какие неприятные последствия стали возникать в результате того, что робот перекочевал из мира фантазии в реальный мир! А все из-за того, что точно рассказать, что такое робот, так же трудно, как, например, дать точное однозначное определение слова «домовой».

Вот в этот самый критический момент группа ученых всерьез задумалась: «Что же это такое? Уже 20 с лишним лет разрабатывается метод экспертных оценок, который специально предназначен, чтобы люди могли



прийти к соглашению по поводу спорных или неясных вопросов. Так давайте применим этот новый (?) метод, если у нас по-другому ничего не получается!»

Сказано — сделано! Кликнули клич, на который отозвались ни много ни мало 156 экспертов. Это вам не: «Когда семеро говорят!..» Это намного надежнее! Но метод был тот же самый.

Экспертам не стали морочить голову вопросами: «Что такое робот? Как он должен быть сделан?» и другими.

Были составлены описания нескольких различных систем, которые в современной научной и технической литературе фигурируют под кличкой «робот». Затем эти описания предъявили экспертам, подобно тому как древнеримская женщина предъявляла своего схоласта проходящим мимо окна, с тем же вопросом: «Да или нет?»

Каждого эксперта попросили, чтобы он, не общаясь со 155 другими экспертами, указал, какие из систем, по его мнению, действительно заслуживают этой клички. Мы не будем здесь пересказывать описания всех систем, предъявленных экспертам. Лишь для примера укажем,

что среди них фигурировали луноход и биорука, созданные советскими учеными и инженерами, система машинного перевода с языка на язык и даже система проверки денег и марок на случай мошенничества.

Наиболее достойными называться роботами были признаны системы, описанные так:

«Подвижные системы, способные «обучаться» и прокладывать кратчайший путь на площадке с произвольно расположенными препятствиями к назначенной цели без столкновений».

К этому «единогласному» мнению пришли 120 экспертов из 156. Все другие системы получили меньше или значительно меньше голосов, но без «голосов» не осталась ни одна. Даже систему проверки денег на случай мошенничества семь экспертов признали роботом.

Вы несколько разочарованы результатами опроса экспертов? Вам кажется уж очень «приземленным» описание «чемпиона» среди роботов? Слишком скромными его способности? Вам бы хотелось, чтобы оно действительно больше походило на воображаемое?

Прочтите остальную часть книги! Может быть, ваше разочарование пройдет. Мы постараемся вам показать, что реальности могут быть намного интереснее и умнее фантазий, не говоря уже о том, насколько они нужнее и полезнее. В этом состоит одна из главных целей, какие мы перед собой поставили.

Эта книга не учебник по робототехнике, она рассказ на тему, отражающую одно из новых, важных (и фантастических!) направлений научно-технического прогресса.

ОКЕАН ЭНЕРГИИ

Вряд ли в истории мировой науки можно назвать еще одну супружескую пару, которая сделала для человечества столько, сколько сделали супруги Кюри. Всемирную славу им принесли их исследования явления радиоактивности, которые начались на исходе прошлого века. Мы не собираемся здесь перечислять их огромные научные заслуги и упомянули супругов Кюри только, чтобы в дальнейшем читатель мог по достоинству оценить темпы, которыми способны развиваться наука и техника.

Итак, в 1903 году Пьер Кюри обнаружил самопроизвольное выделение тепла солями радия, связав радиоактивность с выделением значительных количеств энергии. Тем самым он способствовал пониманию процесса радиоактивности как результата атомных превращений, способствовал проникновению науки в глубь атома.

В 1919 году выдающемуся английскому физику Эрнесту Резерфорду удалось впервые в мире расщепить ядро атома азота. А спустя еще 11 лет он высказал гипотезу о существовании нейтрона — нейтральной (не имеющей электрического заряда) элементарной частицы, входящей наряду с протоном (электрически заряженным) в состав атомного ядра.

В 1932 году это блестящее предвидение было экспериментально подтверждено английским физиком Дж. Чедвиком, открывшим нейтрон.

В 1938 году два немецких ученых Отто Ган и Фридрих Штрассман открыли новое явление — деление ядер атомов урана и тория. Они обнаружили, что атомы урана-235 можно «расколоть» на две примерно одинаковые части, бомбардируя их нейтронами, движущимися со скоростью порядка 400 метров в секунду. При этом получался удивительный результат. Суммарная масса осколков оказывалась несколько меньше массы целого ядра. Зато разрушение его сопровождалось выделением энергии. И еще они обнаружили, что каждый акт деления ядра сопровождался испусканием в среднем более двух нейтронов взамен одного поглощенного. При некоторых условиях эти нейтроны вызывают деление двух ядер, ускоряя процесс распада, в результате которого освобождается гигантская энергия. Этот лавинообразный процесс получил название «цепная реакция». Так были созданы научные предпосылки к использованию атомной энергии.

Спустя всего лишь семь лет после открытия О. Гана и Ф. Штрассмана пережили трагедию японские города Хиросима и Нагасаки, на которые американские летчики сбросили две первые атомные бомбы. А спустя еще десять лет в Советском Союзе вступила в строй первая в мире атомная электростанция, затем первый в мире атомный ледокол...

И примерно тогда же созданная в США государственная комиссия по атомной энергии сообщила, что, по ее подсчетам, к концу XX века половину электрической

энергии будут поставлять атомные реакторы, а через сто лет ими будет производиться почти вся электроэнергия, которой тогда понадобится во много раз больше, чем сейчас.

Мы напомнили несколько имен, которые уже внесены во все энциклопедии мира, и несколько событий, ставших важными вехами в истории научно-технического прогресса человечества. Теперь читатель может сам оценить масштабы той «цепной реакции», которой ответили наука и техника на первые открытия, первые изобретения, первые опыты в этой области.

Естественно поставить вопрос, насколько закономерна такая бурная реакция? Почему то, что 70—50—30—10 лет назад интересовало только небольшую группу ученых, с течением времени становится центром внимания миллионов людей? И не просто внимания, а центром приложения их творческих сил и способностей? Становится предметом заботы специальных ведомств, министерств, правительств, готовых нести гигантские затраты, заметные даже в бюджете целого государства?

Больше четырех пятых мирового потребления энергии дают уголь, нефть, газ, торф. Их запасы из года в год сокращаются. Уже сегодня видно, что может наступить время, когда при всевозрастающей потребности в энергии из земных недр придется, фигурально выражаясь, вычерпывать ложкой остатки нефти и вырубать последний кусок угля. Уже сегодня все громче, злободневней и понятней становятся разговоры о назревающем «энергетическом кризисе». Конечно, каждый человек по отдельности может об этом не думать, успокаивая себя соображениями: «На мой век энергии хватит». Но человечество в целом об этом думать обязано, обязано заранее найти пути и способы его предотвращения.

Конечно, супруги Кюри, делая свои открытия, совершенно не думали ни о каком «энергетическом кризисе». Про Э. Резерфорда говорят, что в 1937 году, то есть за год до опубликования работ О. Гана и Ф. Штрассмана, на вопрос о том, когда его открытие найдет практическое применение, он ответил: «Никогда». Важно не это. Важно, что их открытия и исследования, работа сотен и тысяч других ученых и исследователей, десятков и сотен тысяч рабочих и инженеров, одним словом, работа миллионов людей в конечном счете решает жизненно

важные государственные, общечеловеческие проблемы. В этом и только в этом случае возникает «цепная реакция», развивающаяся такими темпами и достигающая таких масштабов, которые нам порой трудно себе представить.

Ну хорошо, может сказать читатель, понятно, насколько жизненно важно решить энергетическую проблему. Но ведь страницей раньше было сказано, что, проникнув в атом, человек оказался буквально у бездонного океана энергии. Казалось бы, черпай из этого океана сколько нужно, и все тут!

Для того чтобы добывать нефть, уголь и газ, нужны миллионы людей. Это и шахтеры, врубающиеся в лаву непосредственно в забое, и инженеры, проектирующие угольные комбайны, и нефтяники, работающие на бурильных установках, и геологи, разведывающие новые месторождения, и ученые, разрабатывающие способы транспортировки газа и нефти на тысячекилометровые расстояния, и строители нефте- и газопроводов...

Так надо ли удивляться, что для того, чтобы добывать атомную энергию в таких количествах, которые бы



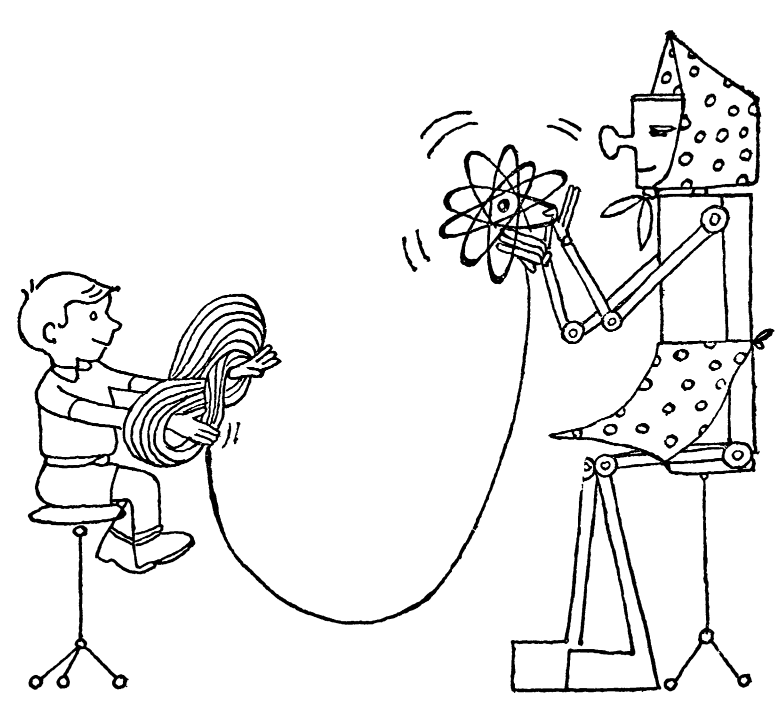
вносили существенный вклад в проблему предупреждения кризиса, тоже нужны миллионы людей, специалисты многих специальностей, уже привычных и совершенно новых. И нужна техника — уже привычная и новая, новейшая, сверхновейшая! Только тогда наука может стать реальной производительной силой, когда она шагает рука об руку с техникой. И чем более глубокие научные открытия приходят на службу человеку, чем более тонкие и сложные технологические процессы сопряжены с их использованием, тем все более сложные задачи возникают перед техникой, тем все более «квалифицированными» и разнообразными должны становиться установки, машины, приборы и автоматы, выполняющие эти процессы. Вот почему в наши дни, говоря о научно-техническом прогрессе, подчеркивают, что наука и техника сегодня неотделимы одна от другой, как неразделим тот вклад, который они несут в решение жизненно важных проблем, стоящих перед человечеством.

НАЧАЛО РОБОТОТЕХНИКИ

Вы, наверное, догадываетесь, что мы не случайно начали книжку о робототехнике с рассказа об атомной энергетике. И действительно, здесь никакой случайности нет!

Да, атомная энергетика уже стала одним из столпов технического прогресса, энергетической базой нашего ближайшего будущего. Но материалы, с которыми приходится иметь дело в этой области техники, обладают радиоактивностью — свойством, угрожающим здоровью и самой жизни человека, ужасным свойством, породившим трагедию Хиросимы. От лучевой болезни нет прививок и нет способов «закаливания» организма, предупреждающих заболевание при интенсивном облучении.

Опасны для человека не только сами радиоактивные вещества, но и оборудование, машины, инструменты, которые используются при их получении и обработке. Они сами под воздействием облучения становятся «заразными». А вместе с тем работы с радиоактивными веществами, процессы и технологии, связанные с научными исследованиями и производством ядерного горючего, ремонтом, монтажом и демонтажом реакторов, обслуживанием машин, приборов, устройств и систем ядерной энерге-



тики, всего того оборудования, которое эксплуатируется в радиоактивных зонах, требуют непрерывного участия людей. О том, какого размаха уже достигли эти работы, процессы, технологии и каких масштабов они неизбежно достигнут в ближайшем будущем, только что говорилось.

Так возникло противоречие между потребностями человека, которые может удовлетворить только атомная промышленность, и опасностью для его здоровья и жизни, которую она несет. Оно возникло не сегодня и не вчера, а еще в ту пору, когда не было речи об атомной энергетике, когда велись первые опыты по изучению радиоактивности, когда первые ученые и исследователи «открыли» лучевую болезнь, на своем личном горьком опыте познали ее тяжелые последствия. И еще в ту пору стало ясно — профилактика этой болезни состоит в том, чтобы защитить человека от вредной радиации.

Значит, указанное противоречие можно было разрешить единственным способом: надо было отделить зону, где находится материал и оборудование, несущие смер-

тельную угрозу, от зоны, где находятся люди. Но как же тогда производить манипуляции с этими материалами, манипуляции, с которыми сопряжены все опыты, научно-технические исследования, технические работы? Может быть, следовало встать на путь создания специальных автоматических устройств, которые бы могли все это делать полностью без непосредственного участия человека?

Это было невозможно! И не потому, что тогда, когда атомная энергетика еще только зарождалась, теория и техника создания автоматических систем тоже были развиты еще недостаточно. Это невозможно сделать сегодня и, вероятно, невозможно будет сделать в обозримом будущем! Непосредственное участие человека было, есть и будет необходимым при выполнении бесчисленного множества операций, действий и процессов; слишком они разнообразны, нестандартны, заранее непредсказуемы, чтобы их выполнение можно было поручить автомату.

Единственно правильное решение, которое могло вывести из этого «тупика», опиралось на следующее рассуждение. Если нет технической возможности использовать автоматы, которые бы работали вместо человека, значит, следует создать машины, механизмы и устройства, которые будут работать вместе с человеком. Надо создать механические руки, которые можно будет устанавливать непосредственно там, где находятся радиоактивные материалы и оборудование, — в «горячей» камере, в изолированном помещении, одним словом, там, куда человеку доступ запрещен. А человека надо поместить в защищенную от ядерной радиации безопасную зону. И пусть он, находясь в этой зоне, управляет всеми движениями механических рук.

Конечно, в действительности дело обстояло не так, что сначала в такой четкой и ясной форме была сформулирована идея решения, а затем только начались технические разработки. Создание технических средств, без которых был невозможен никакой прогресс в этой области науки, началось сразу же, как только обнаружилась страшная угроза. Сначала эти средства были чрезвычайно просты. Радиоактивный материал помещался в ящик, стенки которого покрывались листами свинца, лучше других материалов задерживающего смертоносные лучи. А механическими руками служили простые инструменты, отдаленно напоминающие длинные щип-

цы, захват которых просовывался внутрь ящика. Через прорези, защищенные толстым кварцевым стеклом, можно было заглянуть в ящик и следить за тем, что там происходит, а выдвигая, втягивая, поворачивая, разводя и сводя рукоятки щипцов, можно было управлять движениями их захвата и с грехом пополам выполнять задуманные опыты. Почему с грехом пополам? А вы попробуйте длинными клещами взять чайник, поставить его на горящую конфорку, а когда он закипит, налить чашку кипятка. Тогда поймете, почему химики и физики, лаборанты и механики — люди самых разных специальностей — вынуждены одновременно овладевать еще одной специальностью, становиться специалистами-операторами, умеющими действовать искусственными конечностями.

Шло время, место небольших помещений, где проводились первые опыты и первые исследования, заняли многочисленные атомные лаборатории; покрытые свинцом ящики превратились в камеры с бетонными стенами толщиной в несколько метров; иногда эти изолированные помещения больше напоминают самолетный ангар, чем камеру.

А неуклюжие и неудобные щипцы?.. Вместо них используются сложные машины и устройства, позволяющие передать движения человека-оператора из безопасной зоны внутрь камер, туда, где надо выполнять самые различные работы. Эти машины, предназначенные для передачи движений человека на расстояние, называют манипуляторами. Стальные руки в камерах действуют прямо-таки «по-человечески». Они берут коробок спичек, открывают его, достают спичку и зажигают ее. Квалифицированный оператор с помощью высокоточного манипулятора может продернуть нитку в игольное ушко.

Манипуляторы — первые машины, обладающие парой механических рук и умеющие выполнять этими руками человекоподобные движения. Вот почему можно смело утверждать, что именно с них началась робототехника. Почти за сорок лет, прошедших со времени появления первого манипулятора, семейство этих машин значительно расширилось и усовершенствовалось. Сейчас их используется много тысяч, а их разработка и выпуск становятся отраслью промышленности, пока еще скромной по объему производства, но быстро развивающейся. Че-

ловечество все острее ощущает потребность в новом виде энергии, а для того, чтобы ее добыть и использовать, нужны новые машины-манипуляторы, роботы, умеющие работать вместе с человеком.

«Горячая» камера атомной лаборатории не единственное место, куда человек хочет, но не может проникнуть лично, либо, проникнув туда, в силу своих физиологических свойств вынужден надежно изолировать себя от окружающей среды и, значит, прибегать к помощи надежного и послушного посредника между собой и этой средой

„НАУТИЛУСЫ"

Свыше ста лет назад вышел в свет очередной роман Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой». (Лье — старая французская путевая мера, имевшая, как это ни странно, несколько значений. Судя по старым переводам этого романа, Жюль Верн имел в виду так называемое почтовое лье, приблизительно равное 4 километрам.) Действие этого романа разворачивается на фантастическом подводном корабле «Наутилус», совершающем кругосветное путешествие.

Для техники того времени «Наутилус» был настоящим чудом. У него электрические двигатели. Он освещался и отоплялся электричеством. С помощью электричества готовилась пища, электрозащита предупреждала нападение на корабль, время отсчитывалось по электрочасам. Просто поразительно, что описание «Наутилуса» было сделано в то время, когда не существовало мощных источников электричества, не было электроосвещения, фактически еще не было электромоторов. Воистину в лице Жюля Верна научные фантасты имеют гениального родоначальника и первооткрывателя, сумевшего объединить науку и искусство, технику и литературу, увидеть в современности — будущее, в фантазии — реальность, в невозможном — возможное.

Хотя, правда, не он первый использовал для названия своего корабля греческое слово «наутилус», в переводе означающее «моряк».

Люди, тысячелетиями живущие у воды, у берегов рек, морей и океанов, всегда стремились проникнуть в их таинственные глубины, руководствуясь самыми различными целями. Они хорошо понимали, как мало мо-

жет им рассказать о подводном царстве ныряльщик, умеющий погрузиться в воду всего на одну-две минуты на глубину в несколько метров, в крайнем случае на несколько десятков метров. Вот почему уже с давних пор изобретатели и инженеры делали попытки построить подводный корабль, и среди них Роберт Фултон, тот самый, который считается изобретателем парохода. В 1801 году он построил подводную лодку, которую назвал «Наутилусом». В этой конструкции для надводного хода был использован парус, а для подводного — приводимый вручную винт.

А 17 января 1955 года под воду опустился еще один «Наутилус». Так конструкторы назвали первую атомную подводную лодку. С этого момента открылась возможность подводного плавания практически без ограничения времени пребывания под водой. Ведь на этом корабле для подводного хода, как и для надводного, служит одна и та же энергетическая установка: атомный реактор — паровая турбина, действующая по замкнутому циклу. Она не нуждается в кислороде воздуха, как двигатель внутреннего сгорания, и не требует перезарядки, как аккумуляторная батарея, питающая электродвигатель.

Почему же все-таки человека так тянет в глубь океана? И почему эта тяга становится со временем все сильнее?

Мировой океан занимает свыше 70 процентов площади всего земного шара. Его богатства неисчислимы. Вся толща вод океана и вся поверхность его дна населены самыми разнообразными животными: количество их видов достигает 150 тысяч. Только рыб насчитывается около 16 тысяч видов, разнообразных моллюсков — около 50 тысяч видов.

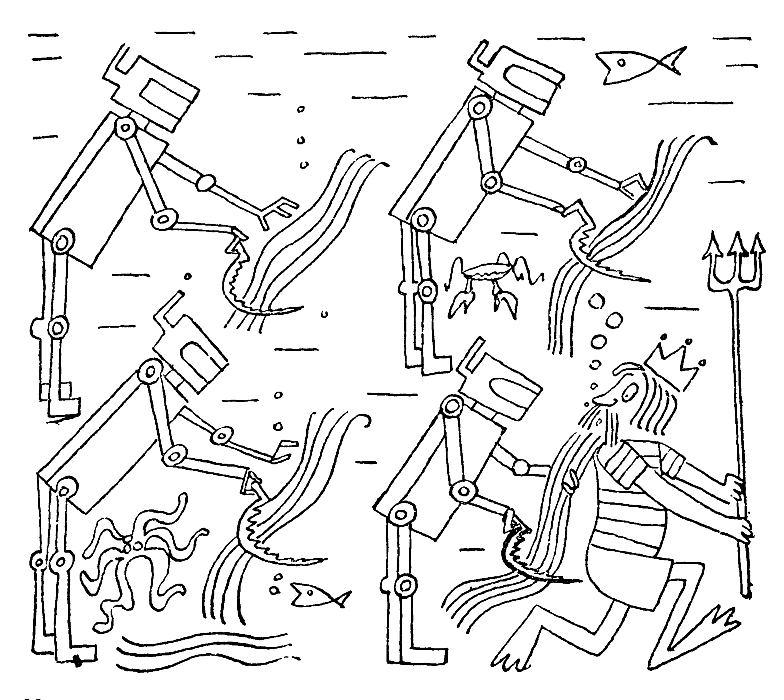
Подсчитано, что возможный ежегодный улов рыбы составляет около 80 миллионов тонн; это, по самым скромным оценкам, значительно перекрывает потребность человечества в белках. По данным американских ученых, рудные выходы (так называемые рудные почки) в Тихом океане могли бы обеспечить потребности нашей планеты в меди на 6 тысяч лет, в алюминии — на 20 тысяч лет, в кобальте — на 200 тысяч лет.

Гигантские продовольственные и сырьевые запасы хранит Мировой океан. Так удивительно ли, что любопытство и смутные догадки, которые породили сказание

о Садко и наивные конструкции первых подводных лодок, постепенно переходят во все более глубокие знания океана и во все большую уверенность, что его систематическое освоение становится для человечества жизненно важной проблемой. Но изучение подводного царства фактически еще только началось. Причина этого — колоссальные глубины океана.

Его прибрежная часть — шельф, — окаймляющая сравнительно узкой полосой материки, имеет глубину до 200 метров. Далее следует материковый склон с глубинами от 200 до 2000 метров. Наибольшую часть площади океана составляет его ложе, находящееся на глубине 2—6 тысяч метров с отдельными впадинами глубиной свыше 10 тысяч метров.

Ныряльщикам, аквалангистам, водолазам доступна лишь малая часть шельфа. Чтобы проникнуть в глубины океана, человеку нужны более совершенные технические средства. И уже в течение многих лет ведутся работы по созданию глубоководных снарядов, специальных подводных кораблей, подводных лабораторий. Человек



уже побывал на самых больших глубинах. Чтобы защититься от сокрушительных давлений, он забрался в стальную коробку. В ней можно жить и двигаться, можно наблюдать и изучать подводный мир, как это делали пассажиры «Наутилуса», «построенного» фантазией Жюля Верна. Но теперь человеку этого мало так же, как ему было бы мало, если бы он имел возможность только наблюдать за тем, что происходит в «горячей» камере атомной лаборатории, не вмешиваясь активно в происходящее там.

Как быть, если ему жизненно необходимо не просто наблюдать, а работать в глубинах океана и на его дне? Жюль Верн решал этот вопрос просто. Пассажиры «Наутилуса» надевали водолазные костюмы, выходили из корабля и совершали длительные прогулки по дну океана. Но за сто лет, прошедших с тех пор, как он описал водолазный костюм, имеющийся на «Наутилусе», водолазная техника не сумела не только опередить фантазию писателя, но и сколько-нибудь к ней приблизиться.

Водолазы сегодня работают в специальных скафандрах, представляющих собой сложное сооружение, состоящее из водонепроницаемого комбинезона, шлема, устройств, питающих водолаза воздухом, кислородом или специальной газовой смесью; из телефонного устройства, обеспечивающего связь водолаза с надводным миром; из устройства, на котором его опускают на глубину и поднимают на поверхность; наконец, из специальных грузов и тяжелой обуви, гасящих плавучесть водолаза и обеспечивающих устойчивость его вертикального положения под водой.

Одного человека в глубине моря должны обслуживать несколько человек на поверхности. При этом нельзя сказать, что время пребывания водолаза под водой используется очень эффективно. Дело в том, что при спуске на глубину и подъеме на поверхность внутреннее давление в воздухоносных полостях организма человека должно выравниваться с изменяющимся наружным давлением воды; с этой целью приходится ограничивать скорость спуска и особенно подъема водолаза. В результате время спуска и подъема растет по мере увеличения глубины погружения, занимая даже при не очень больших глубинах значительную долю рабочего дня водолаза. Достаточно сказать, что по существующим нормам после двухчасового пребывания на глубине

40 метров время так называемой декомпрессии водолаза составляет около 4 часов.

А что касается глубин в сотни и тысячи метров, то против их смертоносного воздействия на организм человека, так же как против воздействия радиоактивных излучений, существует лишь одно средство — надежная изоляция человека от этой среды, от океана. Вот человек и забрался в стальную коробку. Ну а как же все-таки добывать металлы и полезные ископаемые, проводить исследования, строить, собирать образцы породы, флоры и фауны в глубинах океана и на его дне?

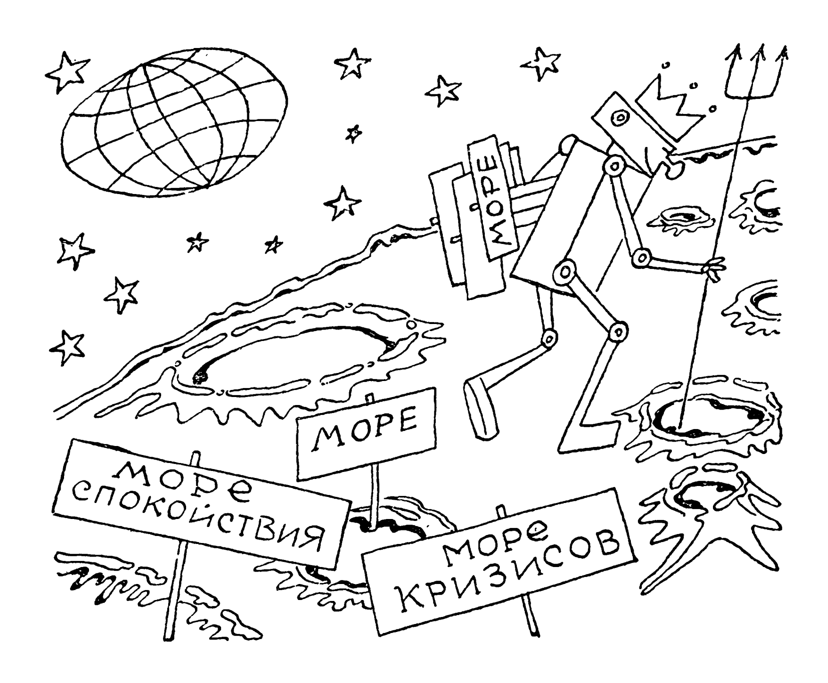
Только один ответ найден на этот вопрос — применение манипуляторов и роботов. Значит, опять возникает необходимость в том, чтобы передать движения человека на расстояние, в ту зону, ту область, куда непосредственный доступ ему закрыт навсегда.

Манипулирование в морских глубинах во многом напоминает работу оператора в атомных лабораториях. Только в одном случае в камеру помещают объект манипулирования, опасный для человека, в другом случае в камере находится человек, и эта камера — единственное относительно безопасное место для него в окружающем пространстве.

А все взаимодействия с внешним миром, все работы в подводном царстве, как и в «горячей» камере, человек выполняет, управляя механическими руками, установленными снаружи на корпусе аппарата.

ПЯТЫЙ ОКЕАН

Так иногда называют бесконечное пространство, в одном из уголков которого приютилась наша вселенная. И известна совершенно точно дата, которой начинается история освоения этого пространства: 4 октября 1957 года был дан старт советскому спутнику — первому искусственному телу, выведенному в космическое пространство и ставшему сателлитом нашей планеты. Спустя еще три с половиной года в космическом пространстве появился первый человек, первый космонавт — наш Юрий Гагарин. А еще через восемь лет первый человек высадился на Луне. Ровно сто лет потребовалось, чтобы еще одну «сказку сделать былью», сказку, сочиненную тем же Жюлем Верном и рассказанную им в двух романах: «С Земли на Луну» и «Вокруг Луны».



Сейчас, спустя 20 лет (всего через 20 лет!) после первого «прорыва», в космосе находятся тысячи спутников — искусственных небесных тел. Практически реализована идея К. Э. Циолковского о создании долговременных орбитальных станций. Советский корабль «Салют» — первая космическая лаборатория, где космонавты назначают встречи, могут работать, отдыхать, готовиться к возвращению домой, на Землю. А может быть, спустя еще какое-то время эти станции будут служить просто пересадочными пунктами. Сложнейшие процедуры рейсов Земля — Луна — Земля или Земля — «Салют» — Земля разработаны во всех подробностях и выполнены с успехом. Так разве процесс освоения космического пространства по темпу продвижения вперед не напоминает цепную реакцию?

Искусственные спутники становятся привычными, крайне необходимыми техническими устройствами. Они начинены самой различной аппаратурой и сейчас помогают предсказывать погоду, служат для создания глобальных систем связи, телевидения, без них немыслимо проведение многих научных исследований. Создание ор-

битальных и лунных обитаемых и автоматических станций послужит дальнейшему расширению наших знаний о вселенной и выдвинет перед наукой и техникой ряд новых задач. Единожды начавшись, сложный процесс, который называют научно-техническим прогрессом, неудержимо развивается, каждый новый шаг, новое достижение ускоряют его темп, по мере ускорения темпа все чаще возникают все более сложные задачи и все более плодотворными представляются результаты их решения.

Космос — это еще одна область, привлекательная, но запретная для человека, для его непосредственного там пребывания.

Подумать только, до чего много запретов встречает человек, как только пытается, образно говоря, сойти с проторенных троп!

В совсем еще недавние времена он совершенно не ощущал тягости этих запретов. Земля с ее лесами, лугами, горами и пустынями казалась ему бескрайней, о путешествиях в глубь океана и в небо он только видел сны и сочинял сказки; и не было ни одной сказки, герой которой мог бы проникнуть внутрь атома и посмотреть, что там происходит. И вот меньше чем за сто лет все это становится для него реальностью, да еще жизненно важной.

Проникнуть в глубь атома, океана, космоса! Да, это жизненно важно. Важно с точки зрения сегодняшнего дня, ближайшего будущего, далекой перспективы.

Поэтому сейчас в космосе тысячи спутников, с течением времени их будет десятки тысяч... Но срок службы спутника ограничен. Не потому, что он перестает двигаться вокруг Земли. Просто с течением времени установленное на нем научное, исследовательское, регистрирующее, приемопередающее и всякое другое оборудование и аппаратура выходят из строя, изнашиваются, морально устаревают, требуют восстановления или замены. Как быть?

Можно, конечно, считать, что 5—10 лет службы — достаточный срок, и не пытаться продлевать его. Тогда с течением времени в космосе начнут скапливаться тысячи мертвых лабораторий, вместо которых потребуется запустить тысячи новых. Разумно ли так поступать? Конечно, нет!

Но кто и каким образом может продлить жизнь этих технических созданий: заменить аппаратуру, осмотреть,

отремонтировать или заменить отдельные части, узлы и системы, выполнить внутри них или снаружи, разнообразные работы, которые не поддаются предрасчету, заранее непредсказуемы?

Для этого нужен человек, нужны его глаз и рука, его знания и опыт, в общем, нужно его участие в этих работах.

Опять складывается уже знакомая для нас ситуация: нужен человек, а доступ ему закрыт. Но теперь читатель уже сам, вероятно, может придумать, как решить эту проблему, если не побояться немного пофантазировать.

Ну конечно! Нужно сделать нечто вроде глубоководного корабля, который защищал бы человека, но уже не от очень больших давлений окружающей среды, а, наоборот, от космического вакуума, от страшно низкой температуры — от абсолютного нуля, отделял от царства пустоты и холода, столь же опасного, как давление подводного царства. Нужно уметь запустить этот корабль в пятый океан, нужно снабдить его системами автономного движения и, конечно, механическими руками, такими, с помощью которых он мог бы «пришвартоваться» к спутнику или космической станции, закрепиться там, передвигаться с места на место, и такими, которые бы могли вынуть приборы и системы, требующие ремонта, сменить отснятую фотокинопленку, установить новые детали, в общем, провести все необходимые работы. А управлять движениями этих рук, дозировать развиваемые ими усилия смогли бы люди, операторы, члены экипажа этого корабля. Является ли сегодня такой космический «Наутилус» плодом безудержной фантазии?

Вроде бы да, если учесть, что таких кораблей сейчас не существует и еще ни один спутник никому не удалось отремонтировать в космосе. Но о них говорят, их разрабатывают, сведения об этом проникают в печать. Поэтому можно быть уверенным, что время создания таких кораблей не так уж далеко.

Атом, океан и космос уже служат человеку. Но от них не взято еще и малой доли того, что можно взять, что, безусловно, будет взято. А запреты, с которыми сопряжено освоение этих жизненных пространств, будут сняты. В этом человеку помогают его механические посланцы, которые доставят туда, куда ему нужно, его движения и действия, выполняют вместе с ним все необходимые работы.

С первых же страниц этой главы у человека, приготовившегося читать о роботах, может появиться на лице недоуменное выражение: мол, как же так? При чем здесь роботы? Роботы все делают сами: и у К. Чапека, и у С. Лема, и у А. Азимова, одним словом, у всех, кто писал о роботах. Последние могли быть более умными или более глупыми, но всегда умели жить и действовать самостоятельно. Иначе какие же это роботы? А в атомных лабораториях и на глубоководных и космических кораблях действуют люди, и только люди. Они и управляют, они и наблюдают. Механические руки лишь повторяют, копируют их движения и действия. Только и всего. Где же тут роботы?

Ну что же! Ответ на этот вопрос нельзя откладывать надолго. Чуть позже мы встретимся с роботами, которые работают не вместе с человеком, а вместо человека, без его непосредственного участия, как говорят, действуют автоматически. Однако хотим предупредить, что там речь будет идти не о тех роботах, с какими вы встречались и, наверное, еще будете встречаться в других книгах, полных вымысла и фантазии.

Само слово «робот» перекочевало на страницы научных и технических журналов и книг из фантастических рассказов и повестей. Но, конечно, робот, работающий у станка на машиностроительном заводе, и робот, «изобретенный» чешским писателем К. Чапеком, — два совершенно различных создания. Первый — сплошная реальность, уже даже не сегодняшний, а вчерашний день науки и техники. Робот К. Чапека — вымысел талантливого писателя, ожившая на страницах книги мечта человека. Больше пятидесяти лет робот бродит из рассказа в рассказ, из романа в роман, и неудивительно, что в нашем интуитивном представлении он стал ассоциироваться с неким человекоподобным автоматом, действующим по образу и подобию своего живого прототипа.

Роботы, о которых рассказывается в этой книге, тоже продукт человеческого творчества. Но в их создании участвуют не писатели-фантасты, а ученые и инженеры. Робототехника, как атомная, глубоководная и космическая отрасли техники, становится важным направлением научно-технического прогресса. Эшелон за эшелоном на помощь человеку движется целый класс машин нового типа — манипуляторов и роботов. Неважно, что их наружность далеко не человекоподобна. Важно, что они

могут быть посланы человеком туда, куда он не может явиться лично; важно, что они умеют повторять его движения и действия. И не только повторять, но и самостоятельно их воспроизводить. Наша книга именно о таких машинах, об их особенностях и «норове», о том, как устроены их конечности, их механические руки и ноги, как эти машины связаны с человеком; как человек эти связи постепенно ослабляет, как учит машины действовать самостоятельно — превращает в автоматы, оснащает интеллектом и органами чувств, учит их строить движения, работать и «думать».

Нам придется при этом часто обращаться к живому прототипу, к «устройству» человека, действия и движения которого воспроизводят роботы и манипуляторы, вглядываться в конструкцию и устройство живых конечностей, органов чувств, в то, как строит движения человек, как он принимает решения.

ВМЕСТО ЧЕЛОВЕКА

Одним из главных «героев» научно-технического прогресса уже стали машины, которые сегодня называют по-разному: автоматические манипуляторы, манипуляторы с программным управлением, роботы, чаще всего — промышленные роботы.

Главная задача токаря, фрезеровщика, шлифовщика — управлять станком. Но, кроме этого, они должны также установить на станок заготовку и снять обработанное изделие. Многие же изделия, детали и заготовки имеют значительный вес: 10—30—50 килограммов. Операции их обработки на станке могут занимать всего лишь несколько минут, а значительная часть времени уходит на однообразную тяжелую работу, не требующую ни искусства, ни особого мастерства: на установку заготовок, на снятие изделий.

Многие изделия машиностроения изготавливаются с применением сварки, и сварщику в течение всей рабочей смены приходится орудовать тяжелым инструментом — специальными сварочными клещами...

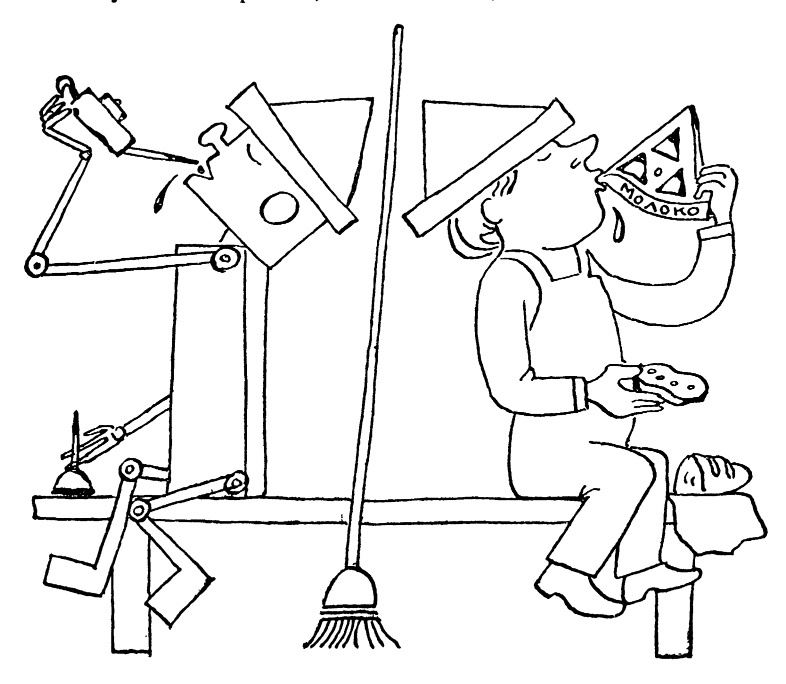
В кузнечных цехах изделия куются из раскаленных заготовок. Заготовку надо взять клещами, ввести в зону обработки, правильно там ориентировать, поворачивать после одного или нескольких ударов. Нелегко ра-

ботать кузнецу и его подручному даже при условии, что сам процесс ковки выполняет машина — молот.

Окраска изделий обычно производится набрызгиванием. Чтобы предохранять рабочего от вредного действия распыляемой краски, нужна специальная маска; помещение или рабочая зона, где производится окраска, оборудуется специальными защитными устройствами — сложными, дорогими и не устраняющими полностью вред для здоровья человека...

Стеклянные заготовки для больших телевизионных трубок — кинескопов — могут весить 10—15 и больше килограммов. Сложный технологический процесс их изготовления требует многократной установки, съема, переноски. Сотни людей в пределах одного цеха заняты этой малопроизводительной работой...

Подобных примеров можно привести множество. Рабочих мест, на которых человеку работать тяжело, где труд утомителен и однообразен, где подчас создается угроза здоровью, а то и самой жизни человека, где возможности и способности человека используются не самым лучшим образом, — миллионы, десятки миллионов.



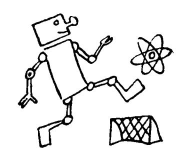
Теперь создано средство — автомат-робот, который может заменить человека на этих местах: загружать и выгружать станки, стоять у молотов, варить, красить, обслуживать самые разные машины и оборудование.

Почему столько времени понадобилось, чтобы автоматизировать, казалось бы, совсем простые человеческие движения и действия, — об этом речь впереди. Сейчас же только заметим, что в конце 50-х годов это сделать удалось. Тогда были разработаны первые конструкции промышленных роботов. В 60-х годах они уже появились на рабочих местах, а затем... А затем началась «цепная реакция».

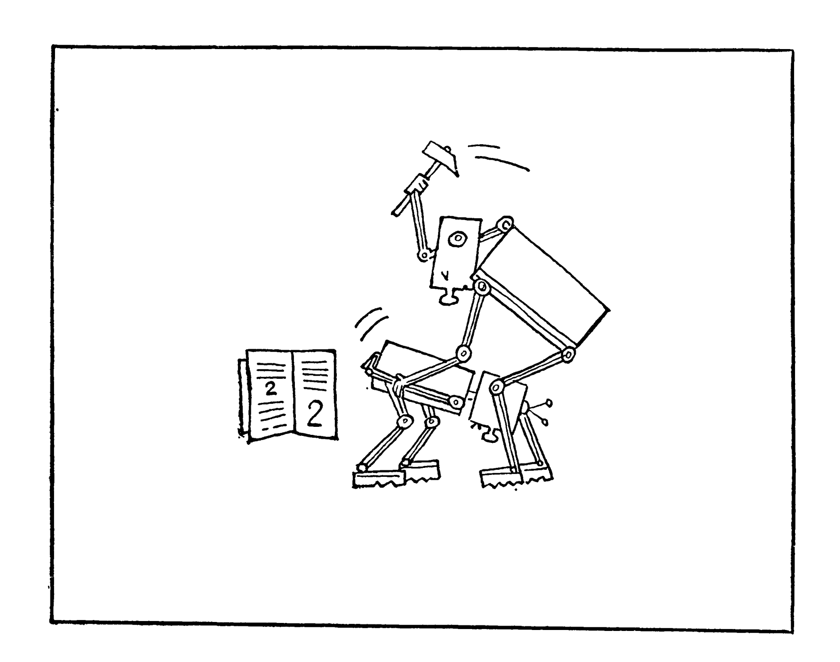
Сегодня промышленные роботы различных конструкций и различного назначения строят во многих странах. Само собой разумеется, что эти работы широким фронтом развертываются в странах социализма и в первую очередь у нас, в Советском Союзе.

Дело ставится всерьез и на широкую ногу. Речь идет не о сотнях и не о тысячах машин, их и сейчас уже больше. Сотни тысяч и миллионы роботов нужны, чтобы стал заметен экономический и социальный эффект робототехники.

Среди капиталистических стран впереди других идут США и Япония. (Пожалуй, сейчас правильнее говорить — Япония и США.) В Японию первый робот был привезен из США в 1967 году. Спустя шесть лет, то есть в 1973 году, в Японии было изготовлено 2500 роботов оригинальных конструкций, а всего их насчитывалось 7800 штук. В 1972 году в Японии была создана национальная ассоциация по производству промышленных роботов, объединяющая десятки фирм, занятых их проектированием и изготовлением. В США в 1974 году учрежден «Американский институт роботов». Объединяют свои усилия в этом направлении капиталистические страны Европы.



ПЛОДЫ ПРОСВЕЩЕНИЯ



АДАМ И ГАЛАТЕЯ

Согласно библейской легенде род людской начался с Адама, причем там описывается чрезвычайно простой технологический процесс его создания. Сначала бог изготовил из земного праха по своему образу и подобию точную копию, а затем оживил, вдохнув в ее ноздри дыхание жизни.

Библия создавалась в течение нескольких веков, предшествовавших наступлению нашей эры. Это были времена экономического и культурного расцвета и распада государств древнего мира — Египта, Древней Греции, Рима. Созданные тогда памятники скульптуры, архитектуры, декоративно-прикладного искусства обнаруживаются до сих пор. А в истории остались имена не только поэтов, музыкантов, политических деятелей, но и ученых, врачей, философов того периода.

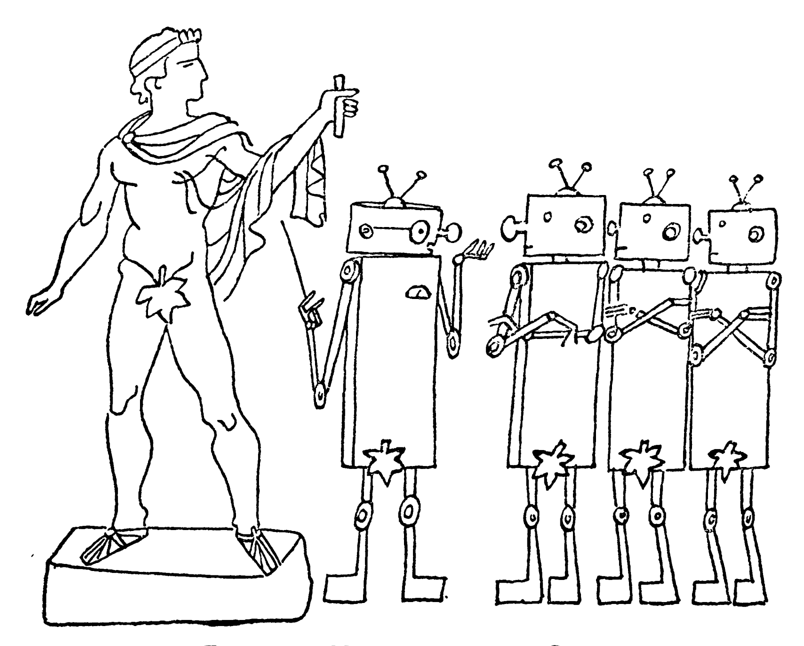
В самые давние времена человек стремился познать

самого себя, проникнуть в суть таинственных явлений природы, жизни, бытия. Но человек — творец, и посему, помимо желания познать, он проявлял стремление увиденное повторить, воспроизвести в грубом наскальном рисунке, в деревянном идоле, в простых игрушках, в статуях, в чудесных скульптурах и произведениях живописи. И он же создавал сказки — мифы, которые легко и просто «объясняли» то, что всерьез понять никак не мог, в которых невозможное делалось без всяких трудностей, стоило только этого пожелать.

Библейский миф о происхождении Адама удивительно совпадает с историей, пересказанной римским поэтом Овидием, жившим круглым счетом две тысячи лет назад. В ней рассказывается о том, как король Кипра Пигмалион (кстати, тоже легендарная личность), почувствовав, очевидно не без причин, антипатию к женскому полу, посвятил себя искусству. Но и здесь его ждал подвох. Выбрал он, казалось бы, совершенно невинное занятие — ваяние. Как получилось, что в результате своих трудов он изваял в мраморе статую женщины необычайной красоты, и с чего это началось, в истории не рассказывается. Но кончились его занятия искусством тем, что он влюбился в свое произведение и начал приставать к греческой богине любви Афродите с просьбой оживить его Галатею. Эта сказка, как и большинство других, кончается хорошо. Пигмалион уговорил Афродиту, та оживила Галатею (метод оживления не указан!), и Пигмалион на ней женился. В дальнейшем Галатея осчастливила Кипр очередным королем.

Шли сотни лет и тысячелетия, и вера человека в свои силы и творческие возможности крепла. Не зря он усердно питался яблоками с древа познания, которое так сильно разрасталось, как и думать не могли наши предки.

«Библейско-мифологический тур» попыток создать из подручных материалов «...по образу и подобию...» уже давно закончился, но сказки об Адаме и Галатее не забыты. Наоборот, и в не столь давние времена, и совсем недавно, и в наше время люди задумывались и задумываются о том, как бы «сказки сделать былью». Конечно, не из таких материалов, как прах земной или мрамор; и «одушевленных» не так, как был одушевлен Адам; и созданных не для того, для чего, оказалось, бы-



ла создана Галатея. Но созданных! Созданных искусственно и умеющих искусственно воспроизводить такие движения и действия, которые бы нельзя было отличить от естественных движений и действий разумного человека.

Возможно это или невозможно?

Десятка полтора лет назад вокруг этого вопроса кипели страсти. И еще как кипели! Как много было сказано на тему «Да или нет»! И не только сказано, но и письменно предсказано и утверждено. И если еще раз вернуться к тому, что теперь «не вырубишь топором», и еще раз вспомнить, кем было сказано и кем было написано, то поначалу нельзя не удивиться тому, каких совершенно противоположных точек зрения по одному и тому же вопросу и в одно и то же время могут придерживаться признанные научные авторитеты! Только потом постепенно становится ясно, насколько сложен и многогранен этот вопрос, насколько много в нем недосказано и недоспрошено и насколько по-разному можно это недосказанное и недоспрошенное понимать и истолковывать. Тогда удивление проходит.

Ученые и инженеры трудятся в поте лица, чтобы че-

ловек мог летать в космос, жить и работать в глубинах моря, обогреть целое царство одним камнем, сотворить подобие Адама. А тем временем создаются новые сказки и мифы, правда, уже на высоком научно-фантастическом уровне. Об аппаратах, «видящих» все ваши мысли, о полетах в далекие созвездия, об инопланетных пришельцах и мыслящей материи и о роботах, роботах, роботах, роботах. В этом отношении все выглядит примерно так же, как две тысячи лет назад.

Тогда, как и сейчас, сосуществовали правда и вымысел. Конечно, что говорить: предметы правды и вымысла тогда и теперь несоизмеримы. Правды, над поисками которых бились лучшие умы древности, сегодня азбучные истины, а вымыслы, вера в которые тогда была непоколебима, сегодня наивны. Но тогда, как, впрочем, и сейчас, далеко не всегда и далеко не всем удавалось различать правду и вымысел.

ОБЫКНОВЕННОЕ ЧУДО

Имя древнегреческого ученого Герона, работавшего в Александрии и потому прозванного Александрийским, упоминается в современных энциклопедиях всего мира, кратко пересказывающих содержание его рукописей. Две тысячи лет назад он завершил свой труд, в котором систематически изложил основные научные достижения античного мира в области прикладной механики и прикладной математики (причем названия отдельных разделов этого труда: «Механика», «Пневматика», «Метрика» — звучат вполне современно). Диву даешься, как много знали и умели его современники. Он описал устройства (которые до недавного времени назывались «простые машины»), использующие принципы действия рычага, ворота, клина, винта, блока; он собрал многочисленные механизмы, приводимые в движение жидкостью или нагретым паром; изложил правила и формулы для точного и приближенного расчета различных геометрических фигур. Прямо-таки античная техническая энциклопедия, написанная одним человеком. Он не всегда, правда, указывал источники и руководства, которыми пользовался, работая над своим трудом, но так он поступал не по злому умыслу. Скорее всего имена многих изобретателей и мастеров древности были за-

долго до него стерты временем. Кем и когда были изобретены винт и блок, кто первым догадался использовать пар в качестве источника энергии привода? Вряд ли на эти и многие другие вопросы история техники когда-либо получит ответы.

Герона Александрийского мы здесь вспомнили не только, чтобы лишний раз удивиться, что примерно в одно и то же время и примерно в одном и том же месте на земном шаре писались и Библия, и Механика с Метрикой. Мы его вспомнили еще и потому, что в его трудах фигурировали описания не только простых машин, но и автоматов, действующих без непосредственного участия человека на базе принципов, используемых еще и в наши дни.

Ни одно государство, никакое общество, коллектив, семья, ни один человек никогда не могли существовать без того, чтобы так или иначе не измерять время. И способы таких измерений изобретались в самой глубокой древности. Сначала это были естественные способы, не требующие никаких специальных знаний и технических ухищрений. Восход солнца, заход солнца, его промежуточные положения — этими ориентирами должен был обходиться первобытный человек. И он, вероятно, прекрасно ими обходился. Сейчас даже трудно себе представить, какую пользу мог бы ему сослужить современный будильник или хронометр.

Во мраке тысячелетий погребено имя того, кто, воткнув палку в песок, не только заметил, что тень от палки меняет в течение дня свое положение и длину (это люди замечали, наверное, задолго до него), он сделал гораздо больше. Он не просто заметил нечто новое, но сумел по-новому посмотреть на, может быть, уже известное явление и сумел использовать его так, как прежде не сумел использовать никто. Тогда это было так же трудно, как и сейчас, и несомненно, что человек, придумавший первые солнечные часы, был гениальным изобретателем, независимо от того, какое он получил авторское вознаграждение.

Мы не знаем, сколько сотен, а может быть, и тысяч лет людей устраивали солнечные часы со всеми возможными их усовершенствованиями. Но в конце концов стало ясно, что никакие усовершенствования не могли устранить их органических пороков. Днем их выводила из строя пасмурная погода, по ночам они вообще не

действовали. А люди вошли во вкус, они жаждали возможности измерять время все более точно, днем и ночью, так как их, наверное, приглашали на ответственные совещания и в гости к ответственным лицам. Как им удавалось сговариваться настолько точно, насколько это было необходимо, и какой смысл тогда вкладывался в понятие «точно» — сейчас никто не знает. Но уже в глубокой древности в Китае и Индии появилась клепсидра — водяные часы.

Этот прибор получил широкое распространение. В Египте клепсидра применялась еще в XVI веке до нашей эры наряду с солнечными часами, ею пользовались в Греции и Риме, а в Европе она отсчитывала время до XVIII века нашей эры. Итого, почти 3,5 тысячелетия! Не правда ли, есть все основания отнести клепсидру к автоматам-долгожителям!

Герон упоминает своего современника, древнегреческого механика и изобретателя Ктезибия. Среди его изобретений и конструкций есть и клепсидра, которая и сейчас могла бы служить украшением любой выставки технического творчества.

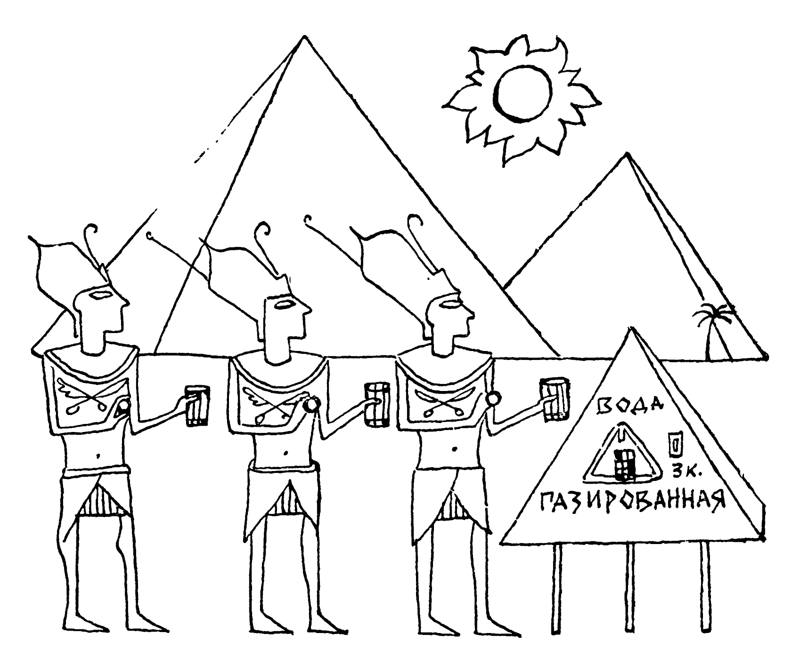
Представьте себе вертикальный цилиндр, расположенный на прямоугольной подставке. На этой подставке установлены две фигуры. В одну из этих фигур, изображающую плачущего ребенка, подается вода. Слезы ребенка стекают в сосуд в подставке клепсидры и поднимают помещенный в этот сосуд поплавок, соединенный со второй фигурой — женщиной, держащей указатель. Фигура женщины поднимается, указатель движется вдоль цилиндра, который служит циферблатом этих часов, показывая время. День в клепсидре Ктезибия был разделен на 12 дневных «часов» (от восхода до захода солнца) и 12 ночных «часов». Когда сутки кончались, открывался слив накопившейся воды, и под ее воздействием цилиндрический циферблат поворачивался на 1/365 полного оборота, указывая очередные день и месяц года. Ребенок продолжал плакать, и женщина с указателем вновь начинала свой путь снизу вверх, указывая дневные и ночные «часы», заранее согласованные с временем восхода и захода солнца в этот день.

«Чудо — всякое явление, кое мы не умеем объяснить по известным законам природы». Так определяет слово «чудо» толковый словарь В. Даля. Можно быть уверен-

ным, что ни сам Ктезибий и никто из его современников понятия не имели о тех законах природы или законах механики, которые управляли движениями этого автомата. Ктезибий творил обыкновенное техническое «чудо», для этого ему служили его руки, его талант и уроки, полученные им от его учителей.

Автоматы, отсчитывающие время, по утверждению К. Маркса, были первыми автоматами, созданными для практических целей. Поэтому для нас они представляют особый интерес. А Герон в своих трудах описывает и другие автоматы, также использовавшиеся в практических целях, но совсем другого характера, в частности первый известный нам торговый аппарат — устройство, автоматически отпускавшее за деньги «святую воду» в египетских храмах.

Во все времена приверженцы всех религий больше или меньше верили в чудеса, которыми полны священные книги и изустные учения. Они верили в чудеса и жаждали чуда. Неудовлетворенный спрос обычно рождает разочарования. Это опасно потому, что за разочарованием может последовать неверие. Поэтому спрос



должен был быть удовлетворен. Этой цели служили многие «рукотворные» чудеса, и в том числе описанный Героном торговый автомат.

ВРЕМЯ С СОБОЙ

Механические часы тоже автомат-долгожитель. Он изготовляется и совершенствуется добрую тысячу лет. Этот длительный процесс оказал огромное влияние на развитие точных наук и на становление самых различных технологий. В связи с совершенствованием механизмов часов и созданием новых принципов их устройства было сделано множество научных открытий и технических изобретений.

Точное время нужно было, конечно, не только для того, чтобы точно являться на свидания и званые ужины. Определение местонахождения корабля в открытом море требует знания точного времени, которое можно хранить на корабле только при помощи достаточно точных часов. Знания точного времени требуют астрономические наблюдения, измерения скоростей движения экипажей, людей и животных, физические, механические, химические опыты, выполнявшиеся учеными, неисчислимое множество технологических процессов, сама жизнь человеческого общества. Точное время «добывали» изобретатели, механики, инженеры и ученые. Иногда все эти специальности совмещались и выступали в одном лице. Достаточно назвать хотя бы двух из числа таких лиц, чтобы понять, какое место всегда занимала проблема точного времени.

Первое упоминание о механических часах относится к VI веку нашей эры. Первые более или менее достоверные сведения о построенных часах приходят к нам из IX и X веков. До XVI века у часов была только одна часовая стрелка; в сутки они «врали» не меньше чем на пятнадцать минут, в качестве источника энергии в них использовался опускающийся груз. А затем темп усовершенствования часов сильно ускорился.

Великий итальянский физик Г. Галилей в одном лице совмещал первооткрывателя, ученого, изобретателя и инженера. На основании дошедших до него сведений из Голландии об изобретенной там зрительной трубе он в 1609 году построил подобную трубу, дававшую трехкратное усиление. Казалось бы, в этом особенное

лишь то, что он выступал здесь в качестве инженера. Но он первым в мире догадался направить эту трубу на ночное небо. То, что он увидел, представляло собой не одно, а целый спектр великих открытий. Он открыл ни много ни мало — новую неожиданную картину мира, увидел удаленность звезд, вращение Солнца, пятна на нем и многое другое, из чего складывается современная астрономия. Он догадался, что, увеличивая оптические возможности телескопа, человек будет видеть в ночном небе все больше и больше. Г. Галилей расширил нашу вселенную и изменил о ней все представления своих современников, став великим открывателем в ту ночь, когда взглянул в свой телескоп на небо.

Г. Галилей тоже нуждался в точном времени и изобрел (хотя и не построил) маятниковые часы, в которых колебания маятника и счет их числа производились автоматически. В этом изобретении, как в капле воды, проявляется удивительное слияние инженерного таланта с талантом ученого.

Г. Галилей — выдающийся ученый-механик. Его работы по формированию основных принципов механики имеют основополагающее значение для современной науки. Вместе с тем полученные им глубокие результаты он иллюстрировал на наглядных примерах решения практических задач. В качестве одного из таких примеров он рассмотрел задачу о качании маятника. И получил с первого взгляда явно неправдоподобный результат. Его выкладки показывали, что время одного полного качания, если можно так выразиться, время одного «тик-так», остается одним и тем же при различных размахах маятника, при условии, что они не очень большие. Догадаться об этом чисто интуитивно, путем прямого изобретательства, просто невозможно! Было невозможно во времена Г. Галилея, так же как в наше время невозможно просто взять и догадаться, чему равна, например, первая космическая скорость.

Работа Г. Галилея по исследованию движения маятника, положившая основу всей современной теории колебаний, — работа выдающегося ученого. А дальше? А дальше на первый план выступает искусство выдающегося инженера и изобретателя. Вот как можно представить себе ход его мысли.

Если время качания практически не зависит от ве-

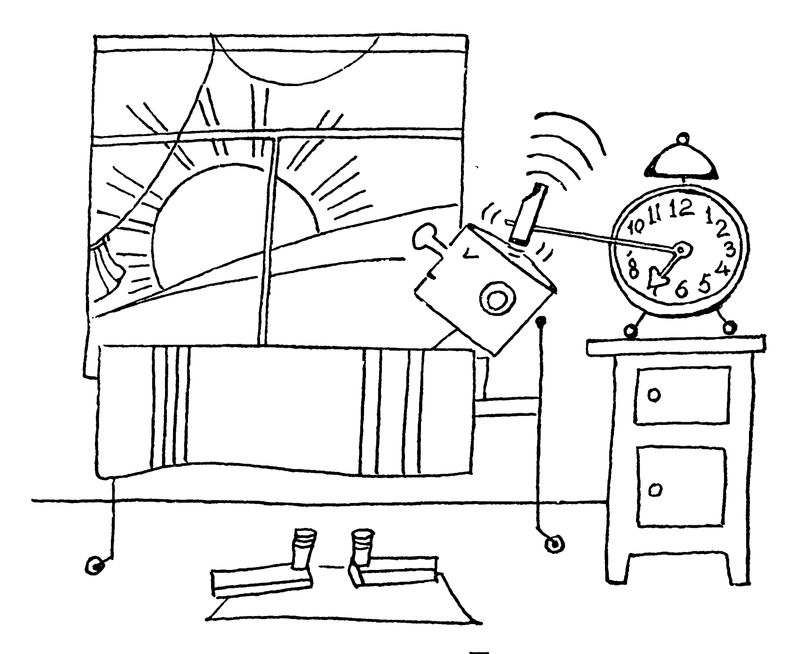
личины размаха маятника, то, значит, каждое его качание отсчитывает один и тот же промежуток времени, каждое качание — точная единица времени, даже если размахи маятника не совсем одинаковы. И значит, считая число качаний, мы можем точно измерять время!

Все, что нужно было знать, чтобы изобрести маятниковые часы, Г. Галилей уже знал как ученый-механик. Оставалось «только» их изобрести! И если, следуя за рассуждениями и выкладками Г. Галилея, можно понять, как он обнаружил изохронность маятника (то есть постоянство времени его качания), то как он изобрел новый принцип действия часов, каков этот галилеевский «механизм» процесса изобретательства, понять нельзя и сегодня. По той простой причине, что сегодня, как и во времена Герона и Г. Галилея, изобретательство в значительной мере остается особым продуктом человеческого творчества, некоторой разновидностью искусства, требующей особого таланта, дарования. Маятниковые часы не мог бы изобрести ни один «просто ученый» и ни один «просто изобретатель». Г. Галилей совмещал обе эти «специальности», он мог изобрести часы, и он их изобрел!

И еще одно имя нельзя не вспомнить в связи с историей автоматов, отсчитывающих время. Это имя выдающегося голландского механика, физика и математика Христофора Гюйгенса, которому исполнилось 13 лет в год смерти Г. Галилея.

При всех положительных качествах маятниковых часов им свойствен тот существенный недостаток, что они очень чувствительны к изменениям положения, к всяческим сотрясениям и движениям их корпуса. И вот Х. Гюйгенс, на протяжении ряда лет занимавшийся усовершенствованием часов, предложил использовать в качестве источника периодических движений не маятник, а систему «баланс-спираль».

Представьте себе небольшое кольцо со спицами и втулкой, сидящее на свободно поворачивающейся оси,— это баланс. А спираль — спиральная пружинка, внутренний конец которой закреплен неподвижно, а наружный соединен с кольцом. Баланс и спираль образуют такую же колеблющуюся систему, как и маятник, обладающую тем же свойством изохронности. Но центр тяжести баланса в отличие от центра тяжести маятника



совпадает с осью его качания. При этом на точность отсчета времени не влияют ни толчки, ни тряска, совершенно недопустимые для маятниковых часов. Теперь время можно было «носить с собой».

Свою систему X. Гюйгенс предложил ровно 300 лет назад. Если вы сегодня снимете заднюю крышку ваших наручных часов, то убедитесь, насколько долговечным может быть талантливое техническое решение. И постепенно часы, бывшие некогда драгоценным и уникальным прибором, стали сначала предметом роскоши, доступным только очень богатым людям, потом ими обзавелись люди просто богатые, затем зажиточные... В наше время семиклассник опаздывает на урок не только по школьным, но и по своим часам.

Часовщики — люди, которые строили первые автоматы, получившие широкое практическое применение. Во времена X. Гюйгенса и много лет спустя часовщик производил часы сам с начала до конца. Вооруженный набором инструментов и приспособлений, он пилил, обтачивал, резал, сверлил... Он один владел десятками профессий, владел в совершенстве, фигурально выражаясь, умел «подковать блоху». Он изготовлял одни часы

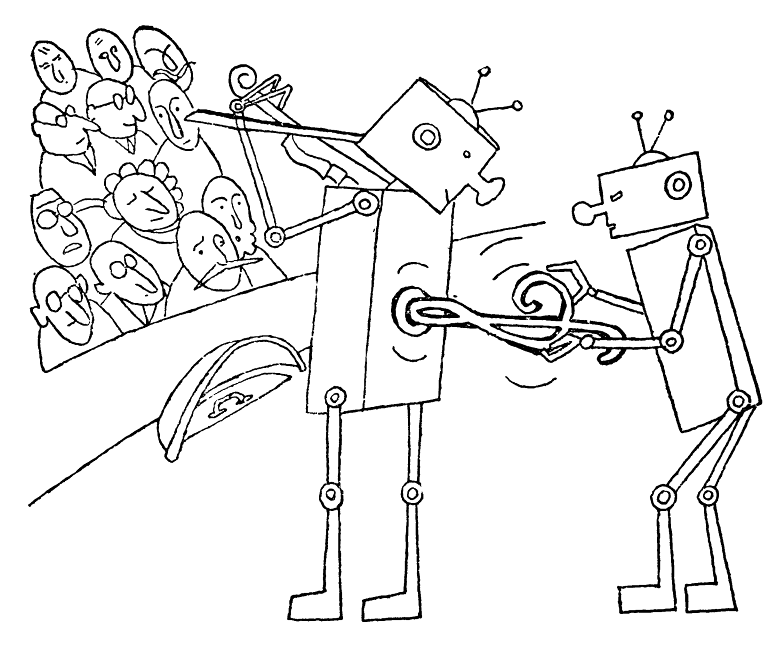
за другими, вносил в их конструкцию усовершенствования. Часы отсчитывали не только часы и минуты, но и дни и годы, они били, звонили, играли мелодии. Множество частей, движущихся с разными скоростями, давало простор фантазии часовщика. Ведь к каждой из них можно было с помощью простого механизма присоединить другие части уже не часового механизма, а искусно изготовленного зверька, птицы, куклы. Времени на их изготовление можно было не жалеть. Драгоценные уникальные часы заказывали короли и принцы, папы и цари. Все больше людей самых разнообразных специальностей привлекалось к изготовлению часов, необходимых для этого материалов и инструментов.

К середине XVIII века часовое дело стало целой отраслью производства, вероятно, тогда единственной, требовавшей столь широкого разнообразия технологических операций и точности их выполнения.

„Я НЕ МЫСЛЮ — ЗНАЧИТ, МЕНЯ НЕТ?"

Удивительно ли, что именно среди часовых дел мастеров появились выдающиеся умельцы, поражавшие своими изделиями весь мир. Их механические создания, внешне похожие на животных или на людей, были способны выполнять наборы разнообразных движений, подобных движениям животных или человека, а внешние формы и оболочка игрушки еще более усиливали ее сходство с живым существом. Именно тогда появился термин «автомат», под которым вплоть до начала XX века понимались, как это указывается в старинных энциклопедических словарях, «такие машины, которые подражают произвольным движениям и действиям одушевленных существ. В частности, называют андроидом машину, производящую движения, похожие на человеческие». (Заметим, что «андроид» — греческое слово, означающее человекоподобный.)

Годами длилась постройка такого автомата, и даже сейчас непросто понять, каким образом удавалось, действуя кустарными приемами, создавать уйму передач, размещать их в малом объеме, увязывать воедино движения многих механизмов, подбирать нужные соотношения их размеров. Все детали и звенья автоматов были выполнены с ювелирной точностью; они были скрыты



внутри фигур, приводя их в движение по довольно сложной программе.

Мы не будем сейчас судить о том, насколько совершенными «животноподобными» или «человекоподобными» казались тогда движения этих автоматов и андроидов. Лучше просто передадим слово автору статьи «Автомат», опубликованной круглым счетом 100 лет назад в энциклопедическом словаре, изданном в Санкт-Петербурге, как тогда назывался Ленинград.

Вот два отрывка из этой статьи с совершенно незначительными изменениями, дающие представление о том, как выглядели эти автоматы и какое впечатление они производили на зрителей:

«...Гораздо удивительней были автоматы, устроенные в прошлом веке французским механиком Вокансоном. Один из его андроидов, известный под именем «флейтиста», имевший в сидячем положении, вместе со своим пьедесталом, 2 арш. $5^1/_2$ вершка вышины (то есть около 170 см), играл 12 разных пьес, производя звуки обыкновенным вдуванием воздуха изо рта в главное отверстие флейты и заменяя ее тоны действием пальцев на прочие отверстия инструмента.

Другой андроид Вокансона играл левой рукой на провансальской свирели, правой рукой играл на бубне и прищелкивал языком по обычаю провансальских свирельщиков. Наконец, бронзированная жестяная утка того же механика — едва ли не самый совершенный из всех поныне известных автоматов — не только подражала с необычайной точностью всем движениям, крику и ухваткам своего оригинала: плавала, ныряла, плескалась в воде и пр., но даже клевала пищу с жадностью живой утки и выполняла до конца (разумеется, при помощи сокрытых внутри ее химических веществ) обычный процесс пищеварения. Все эти автоматы были публично показаны Вокансоном в Париже в 1738 году...»

«...Не менее удивительны были автоматы современников Вокансона, швейцарцев Дро. Один из изготовленных ими автоматов, девица-андроид, играл на фортепьяно, другой — в виде 12-летнего мальчика, сидящего на табуретке у пульта, — писал с прописи несколько фраз по-французски, обмакивал перо в чернильницу, стряхивал с него лишние чернила, соблюдал совершенную правильность в размещении строк и слов и вообще выполнял все движения переписчиков...

Лучшим произведением Дро считаются часы, поднесенные Фердинанду VI Испанскому, с которыми была соединена целая группа разных автоматов: сидящая на балконе дама читала книгу, нюхая временами табак и, видимо, вслушиваясь в музыкальную пьесу, разыгрываемую часами; крохотная канарейка вспархивала и пела; собака охраняла корзину с фруктами и, если кто-нибудь брал один из плодов, лаяла до тех пор, пока взятое не было положено обратно на место...»

Что можно добавить к свидетельству старинного словаря? Что «писца» построил Пьер Дро — выдающийся швейцарский мастер-часовщик, что вслед за этим его сын Анри построил еще одного андроида — «рисовальщика», и что потом оба механика — отец и сын вместе — изобрели и построили еще и музыкантшу. Что музыкантша играла на фисгармонии, ударяя пальцами по клавишам; что, играя, она поворачивала голову и следила глазами за положением рук и что грудь ее поднималась и опускалась, как будто она дышала.

В 1774 году на выставке в Париже эти механические люди пользовались шумным успехом. Затем Анри Дро повез их в Испанию, где толпы зрителей выражали

восторг и восхищение. Но здесь вмешалась святейшая инквизиция, обвинила Дро в колдовстве, посадила Анри в тюрьму, отобрав созданные им уникумы... Тяжелые испытания выпали на долю талантливой семьи Дро. Сложный путь прошли их создания, переходя из рук в руки, и много квалифицированных часовщиков и механиков приложили к ним свой труд и талант, восстанавливая и ремонтируя поврежденное людьми и временем, пока в Швейцарии, в музее изящных искусств города Невшателя, эти андроиды не заняли почетного места.

Еще несколько имен помнит история часового дела, в том числе имя русского механика-самоучки Ивана Кулибина. Тридцати лет от роду он построил часы в форме яйца, затем планетные часы, показывавшие, кроме часов, минуты, секунды, месяцы, дни недели, фазы Луны, времена года. Человек выдающихся инженерных и изобретательских способностей, он был назначен императрицей Екатериной II заведующим механической мастерской Академии наук. Эта мастерская была во второй половине XVIII века центром в области приборостроения в России.

С XVIII веком заканчивался второй тур попыток создать нечто по образу и подобию, тур, проходивший хотя уже не на сказочном, но не больше чем на игрушечном уровне. Это были инженерные игрушки, на которых их создатели многому научились, но все же они были только игрушки, потому что никакого другого практического применения они не получили и не могли получить.

XIX век не оставил нам более совершенных плодов инженерного «игрушечного» мастерства. Но, конечно, мы не вправе укорять наших дедов и прадедов из прошлого века в научном и техническом безделье. Энергетика и машиностроение, телеграф и телефон, металлургия и горное дело, океанское судоходство и воздухоплавание, техническая физика и прикладная механика — эти и многие другие отрасли человеческого знания и умения обязаны своим становлением прошлому веку. Древо познания, к которому Адам не смел прикоснуться, уже затерялось в саду, выращенном его потомками.

В 1929 году на радиовыставке в Париже демонстрировалась забавная игрушка — электрическая собака. Она была сделана из фанеры, покрыта фетром и, по-

добно живой, имела два глаза — два фотоэлемента, разделенных носом — непрозрачной перегородкой.

Когда ее освещали, она начинала двигаться на свет и лаять. Если лампочку отводили в сторону, не переставая освещать собаку, последняя поворачивалась и продолжала лаять, двигаясь к источнику света.

Устройство собаки теперь кажется чрезвычайно простым. Каждый глаз-фотоэлемент был включен в цепь реле, управляющего пуском электродвигателя, который вращал пару — левых или правых — колесиков в ногах собаки. При освещении правого глаза включался двигатель левых колес, и, наоборот — при освещении левого глаза начинали вращаться правые колеса. Аккумуляторы, питающие двигатели и механизмы передачи вращения колесам, были спрятаны в туловище игрушки.

Вспомните часы, которые поднес Пьер Дро испанскому королю, собаку, охранявшую корзину с фруктами и лаявшую до тех пор, пока взятое из корзины яблоко не было положено на место. Электрическая собака, построенная 45 лет назад, по принципу устройства не так уж сильно отличалась от собаки, построенной Дро круглым счетом два века назад.

Если бы Дро обладал современными познаниями в области теории управления и физиологии, он имел бы все основания утверждать, что одним из первых использовал в автомате так называемую обратную связь и построил, может быть, первую модель, обладающую не только внешним сходством с животным, но и воспроизводящую один из элементов его поведения: построенная им собака имела обратную связь с окружающим миром и лаем «реагировала» на воздействие внешней среды.

Дро не подозревал, что на его творчество можно взглянуть с такой точки зрения. Но это, конечно, не означает, что он не имел на этот счет своей собственной точки зрения, весьма прогрессивной для своего времени.

Ведь не зря первый из знаменитых андроидов — «писец» — писал: «Je ne pense pas, ne serais je donc pas?» — «Я не мыслю — значит, меня нет?», как бы вступая в спор с выдающимся французским математиком, физиком, физиологом и философом XVII века Рене Декартом, которому принадлежат слова: «Cogito, ergo sum» — «Я мыслю — значит, существую».

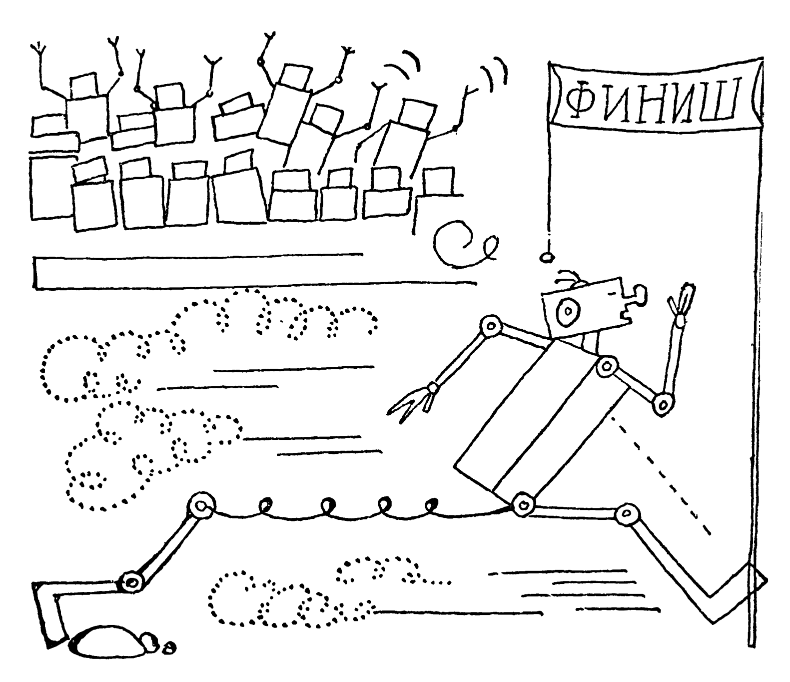
Когда на парижской выставке демонстрировалась «фотоэлектрическая собака», идея обратной связи, как

и многие другие идеи современной теории управления, учеными еще не были сформулированы, машиностроение еще не очень нуждалось в слове «автомат», а производство не было знакомо с понятием «автоматизация». Но зато быстрыми темпами развивались радио, электроника, фотоэлектрические устройства, разрабатывались телевизионные системы, системы пневмо-, гидро- и электропривода — одним словом, многое из того, что сегодня называется средствами и системами автоматики и автоматизации. Возможности этих новых средств использовались при создании самых разнообразных автоматических устройств, полуавтоматов и автоматов различного назначения. И одновременно эти системы и средства «примерялись» не только на «фотоэлектрической собаке», но и на очередной серии андроидов — «Телевокс», «Эрик», «Альфа» и др., которые двигали руками, отвечали на вопросы, садились и вставали, стреляли из пистолета, восхищали и пугали зрителей, но по-прежнему были только игрушками.

Так прошел третий «тур» попыток создать «по образу и подобию». В этом туре, как и в двух предыдущих, использовались самые совершенные тогда научные методы и технические средства. Наши предки тренировались изо всех сил.

ЧЕТВЕРТЫЙ ТУР

Вся эта глава — совсем краткий «этюд» из истории технического прогресса. Только поэтому нам удалось, начав «от Адама», так быстро добраться почти до середины XX века. В сколько-нибудь полном виде такая история составила бы, вероятно, не одну сотню толстых томов. Она бы содержала бесчисленное количество удивительных фактов и событий — трагических и смешных, невероятных и неправдоподобных, но вместе с тем абсолютно верных и документально подтвержденных Вся от начала до конца она представляла бы своеобразный свод биографий — биографий ученых и инженеров, техников и рабочих, людей образованных и самоучек, изобретателей по призванию, по необходимости и по «случаю». И конечно, значительное место в этих биографиях должны были бы занять рассказы об общественном, политическом и экономическом устройстве, об



уровне науки и техники, культуры и образования в тех странах и в те времена, где и когда эти люди жили и работали. Это была бы в конечном счете история человечества, ибо историю технического прогресса невозможно отделить от истории человеческого общества.

А то, о чем мы рассказали в этой главе, — всего лишь нечто вроде «технического фона», на котором пунктиром намечена совсем краткая история давней мечты и многочисленных попыток человека, уподобившись библейскому богу, воспроизвести нечто «по образу и подобию своему». Проводя такой пунктир, мы хотели еще раз подчеркнуть, что идея робота не нова, что попытки реализовать эту идею люди делали неоднократно, что идея робота, может быть, ничуть не хуже и ничуть не лучше идей «ковра-самолета» и «скатерти-самобранки» и что по мере прогресса человеческого общества, расширения технических возможностей понятия «желаемое» и «достижимое» непрерывно сближаются. Все лучше удается предсказать реальность этого сближения, все быстрее и точнее рассчитать его скорость, все весомее и драгоценнее становятся «плоды просвещения».

Итак, технический «этюд», охватывающий период времени от «сотворения мира» почти до середины XX века, занял у нас меньше одной главы.

Вторую половину XX века, время, в котором мы живем, наши потомки также запомнят как важнейший этап в истории науки и техники. «Цепная реакция» в области робототехники есть прямое следствие взрывоподобного процесса развития науки и техники, начавшегося круглым счетом 30 лет назад.

Одной из важнейших примет нашего времени является все более сильный упор на использование человеческого ума, таланта, знаний. Наука уже стала непосредственной производительной силой — это означает, что в развитии каждой из ее бесчисленных отраслей и ветвей заинтересованы не отдельные группы и группки «кабинетных» ученых, а целые отрасли промышленности, подчас целые государства.

Научно-техническая революция — это в первую очередь качественные изменения во взглядах на науку, на то, что она может и что она должна. Такой качественный скачок накапливался исподволь, развивался вместе с развитием общества, его производительных сил, научных и технических возможностей.

Сто и даже еще тридцать лет назад главной задачей техники была замена мускульной силы человека «механическими силами» машины.

Научно-техническая революция началась с капитальных шагов в направлении автоматизации процессов умственного труда с целью повышения его производительности, избавления человека от утомительных, однообразных интеллектуальных операций. Человечество вступило в один из самых перспективных и увлекательных периодов своей истории; уже сегодня наука и техника стократно и тысячекратно увеличивают не только наши физические, но и умственные, интеллектуальные возможности. Стало это реальным с появлением электронной техники и технологии, созданием армии электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ или просто ЭВМ), которые служат человеку числом и уменьем.

Свыше десяти лет назад экономисты, оценивая влияние технического прогресса и темпов, характеризующих изменения в технике, рассмотрели историю внедрения в течение последних десятилетий 20 крупнейших тех-

нических нововведений, имевших значительные социальные и экономические последствия. В течение последнего десятилетия XIX века и первой половины XX века человечеству достались: алюминий, пластмассы, витамины, искусственные каучук и волокна, антибиотики, автомобильный и воздушный транспорт (чем не ковер-самолет?), электронные лампы и радиовещание, замороженные продукты (чем не скатерть-самобранка?). С началом второй половины XX века, а фактически за 15 лет, широкое внедрение получили электронно-вычислительная техника, телевидение и станки с цифровым, или, как часто говорят, с программным, управлением, полупроводники, интегральные схемы и производство ядерной энергии, титан и синтетическая кожа.

Масштабы и темпы технических нововведений непрерывно расширяются и растут. В своих исследованиях ученым уже приходится изучать технические, социальные и экономические последствия внедрения глобального и цветного телевидения, мазеров и лазеров, освоения трансплантации (пересадки) живых органов, развития так называемой инженерной генетики, глубоководной и космической техники, атомоходов, роботов, все новых и новых поколений ЭВМ, новой и новейшей техники, машин, автоматов, аппаратов, появление которых становилось возможным и целесообразным только с появлением каждого следующего поколения ЭВМ.

Для того чтобы жить, работать, изобретать, развлекаться, нужна энергия, которую мы получаем вместе с хлебом, овощами, фруктами от растений, вместе с мясом и молочными продуктами от животных. Животные, в свою очередь, также питаются растениями. Энергия, заключенная в стакане молока, перешла туда от растений, скормленных корове. Значит, в конечном счете всю энергию мы получаем от растений. Откуда она там появилась?

Поставщиком этой энергии служит Солнце. В живой природе все тесно взаимосвязано и взаимозависимо. Сеть этих связей настолько сложна, цепочки зависимостей могут быть такими длинными и запутанными, что, потянув без разбору за одну из ниточек, рискуешь порвать сеть в совершенно неожиданном и крайне опасном месте.

Удивительная вещь — картина равновесия в при-

роде! Асфальт, бетон и стекло, транспорт, водопровод и центральное отопление, шляпы, пальто и зонтики уже давно загораживают современному человеку эту картину, и постепенно она стала казаться ему совершенно нерушимой, вечной. А потом все вдруг заговорили о так называемом экологическом равновесии!

В технике дело с «равновесием» обстоит примерно так же, как и в природе. В ней все так же взаимосвязано и взаимообусловлено. Прежде чем, повернув выключатель, зажечь свет, нужно в патрон ввернуть лампочку, чтобы изготовить лампочку, нужна колба, цоколь и вся «начинка», чтобы их изготовить, нужно... Цепочка обрастает самыми различными материалами, машинами, автоматами, технологиями.

Научно-техническая революция — процесс развития, чрезвычайно сжатый во времени Он не меньше любого другого процесса в природе и технике требует гармонии и равновесия, особого равновесия — динамического, равновесия в движении!

Научно-технический прогресс — все его «пути-дороги»: автоматизация производства, движение в глубь атома, океана, космоса — потянул сразу за множество нитей, привел в движение всю техническую сеть. И он же породил одно из наиболее могучих средств поддержания ее равновесия в этом движении — вычислительную технику, ЭВМ. Вот в каких новых условиях сегодня совершается уже четвертая попытка создать нечто «по образу и подобию», идет четвертый и, видимо, решающий тур. На фоне сказанного должно стать особенно ясно, что робот, такой, какой он есть сегодня или будет завтра, представляет собой не единственный и не исключительный продукт современной науки и техники, а одно из многих ее порождений, вызванных к жизни острой необходимостью.

Не приходит ли иногда вам в голову, дорогой читатель, что, может быть, они и не нужны совсем, эти новые «порождения», что, может быть, без промышленных революций и научно-технических прогрессов было бы лучше?

Нет, не было бы лучше. Останавливаться в своем развитии человеческое общество не может. Его научно-технический уровень растет и будет расти, плоды просвещения становятся все более весомыми, а их урожай все более обильным. Общественное устройство должно и

будет становиться все более совершенным, приближаясь к коммунизму. Только при этих условиях каждый человек может получить равное с другими право и возможность работать и пользоваться плодами коллективного труда. Только такое общество может справиться с будущим «энергетическим кризисом», обеспечить экологическое равновесие, сделать будущие поколения еще более здоровыми и счастливыми.

Мы в книге подробно не останавливаемся на социальных последствиях, связанных с грядущим широким внедрением систем робототехники.

В социальном плане было бы совершенно неправильно выделять роботы в какой-то особый класс систем автоматизации человеческого труда, отличающийся от машин и автоматов всех других классов. Их технические, технологические и конструктивные особенности и окружающий их до сих пор ореол «чапековских роботов» не дают на это никакого права. Они в этом плане не изменяют и не могут изменить соотношения сил в системе «общество — человек — машина» и не дают никаких оснований снова возвращаться к щекочущим нервы дискуссиям на тему «Кто — кого?»: кто умнее — человек или машина? Не придется ли нам быть на побегушках у роботов?

Не придется! Ни при роботах второго, ни двадцатого, ни сотого поколения, какую бы часть человеческого труда они на себя ни взяли. А ожидаемые социальные последствия от их широкого внедрения те же самые, что и от других плодов науки и техники. Последствия, которые целиком базируются на возможности повысить производительность и качество нашего труда, избавить человека от таких видов тяжелого, однообразного и подчас вредного труда, какими он вынужден заниматься до сих пор, освободить его труд для других дел и занятий, более полезных обществу и доставляющих ему большее личное удовлетворение, — для дел творческих.

Иначе разве стали бы уделять проблемам робототехники такое внимание в нашей стране, разве они упоминались бы в важнейших партийных и правительственных документах и на решение этих проблем тратились бы время и силы советских людей, целых коллективов ученых, инженеров, рабочих?

МОЖНО ВСЕ ПЕРЕСЧИТАТЬ

Когда авторы еще только обдумывали план и содержание этой книжки, они собирались подробно рассказать о том, как устроены и как работают, считают, управляют ЭВМ, без которых роботы не могут быть роботами.

Они знали, что этот рассказ должен начаться с событий 30-летней давности, когда на электротехническом факультете Пенсильванского университета США к весне 1946 года была запущена первая ЭВМ, названная ЭНИАК. Построенная на 18 тысячах электронных ламп, она занимала большое помещение площадью около 200 квадратных метров, весила около 30 тонн и требовала 175 киловатт энергии.

Напишите на листке бумаги два десятизначных числа и попробуйте их перемножить. Вы увидите, что это отнимет несколько минут, если вам приходится обходиться одним только карандашом, без помощи других технических средств. Если вы умеете пользоваться арифмометром, это умножение займет 10—15 секунд. Электромеханическая счетная машина на этот процесс затратит 2—3 секунды. ЭНИАК выполнял 300 таких умножений в секунду, сразу увеличив доступную человеку скорость вычислений круглым счетом в тысячу раз.

Показав с помощью этого простого и наглядного примера, как делала первые шаги научно-техническая революция и почему ЭВМ служит одним из ее основных орудий, дальше следовало бы рассказать, каким образом был достигнут такой гигантский скачок, объяснить, как считала первая ЭВМ, как она была устроена, для чего ЭНИАКу были нужны 18 тысяч ламп, 200 квадратных метров площади, 175 киловатт энергии? Но это можно и нужно было бы сделать, если бы следующие за ЭНИАКом ЭВМ были бы похожи на него. Но они не были похожи. ЭНИАК проработал всего около десяти лет, после чего был поставлен на вечное хранение в Национальном музее США в Вашингтоне.

Его техническое состояние позволяло ему работать еще и еще, но он уже морально устарел, стал музейным экспонатом, только начав свою жизнь. Уже тогда разрабатывались и строились несколько более совершенных конструкций ЭВМ, и сегодня рассказ об ЭНИАКе

представлял бы интерес лишь с точки зрения истории науки и техники.

Новые машины были легче ЭНИАКа, занимали меньше места, были надежнее, а главное, они считали гораздо быстрее. В конце 50-х годов быстродействие ЭВМ достигало 100—150 тысяч операций в секунду. Они напоминали ЭНИАК только по своему названию, их конструкция, устройство были совершенно другими.

Наверное, и о них можно было бы рассказать много интересного, не меньше, чем об их предшественниках. Но и эти машины, еле успев появиться на свет и проработать несколько лет, становились музейными экспонатами. Процесс развития и совершенствования ЭВМ продолжался такими темпами, за которыми не только научно-популярная, но и научно-фантастическая литература не могла угнаться. Быстродействие машин, создававшихся в 60-х годах, стало доходить уже до миллиона(!) операций в секунду, их вес и габариты буквально «таяли» на глазах.

Кубик со стороной в четверть метра, весом меньше 30 килограммов — бортовая ЭВМ — выполняет все бесчисленные подсчеты, связанные с маневрированием корабля в космосе, навигацией, входом в плотные слои атмосферы. И другие «кубики» — мини-ЭВМ, производящие вычисления с бешеной скоростью, — продукт множества изобретений, разработки множества новых материалов и технологий.

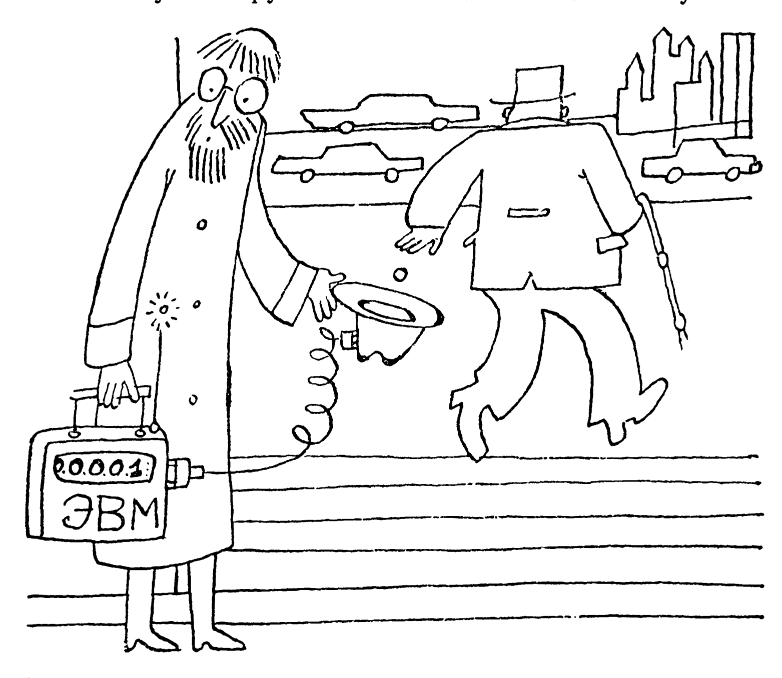
Много интересного можно было бы рассказать и о мини-ЭВМ, об устройстве, конструкции, принципах действия таких «кубиков». О том, как на смену вакуумной электронной лампе пришел транзистор. О том, как сам транзистор проложил дорогу к так называемым интегральным схемам, в которых на кристалле кремния размером в пару сантиметров размещаются тысячи микроминиатюрных транзисторов. Лампа, транзистор, интегральная схема — три поколения электронных компонентов превратили 30-тонный ЭНИАК в 30-килограммовый кубик, работающий в тысячи раз быстрее своего «предка». А научно-техническая революция в области ЭВМ стала перманентной, она непрерывно продолжается.

Несколько лет идет работа над созданием уже не мини-, а микро-ЭВМ, «сердце» которой целиком умещается на кристалле того же кремния, имеющем при-

мерно такие же размеры, как три напечатанные здесь буквы: ЭВМ. Считают, что такой средний по своим возможностям микрокомпьютер способен выполнять 100 тысяч вычислений в секунду. На одном кристалле не одна, а целый комплекс электронных схем — это новый электронный компонент, новое, четвертое поколение ЭВМ. Такую, можно сказать, целую ЭВМ можно разместить в уголочке пишущей машинки, кассового аппарата, в светофоре, в детской погремушке, где угодно!

Нет, не главка и не глава, а целые книги нужны, чтобы понятно и интересно рассказать об ЭВМ. Такие книги уже написаны, они пишутся сегодня и будут писаться завтра, поскольку «ЭВМ-революция» продолжается, новые идеи, новые решения и применения появляются и растут как грибы после дождя. В нашей же книге ЭВМ занимает важное, но не центральное место. И мы здесь расскажем о них только то, что сделает наглядным их широкие возможности и применения и что нам понадобится, когда речь пойдет о роботах.

У доисторических «инженеров», которые только еще изобретали солнечные часы, вычислительным инструментом служила рука. Человек давным-давно научился



считать на десяти пальцах рук, и нам не надо далеко ходить на поиски прототипа нашей обычной десятичной системы счисления. Современная цифровая ЭВМ тоже считает «на пальцах», но не на десяти, а на двух, пользуется лишь двумя символами — нолем и единицей — вместо десяти.

О том, как устроена двоичная система счисления, как записывают двоичные числа, производят над ними все четыре действия арифметики и так далее, рассказывается во многих популярных книгах и рассказах об ЭВМ, в школьных кружках, на уроках. Наверное, скоро обычная десятичная система останется только в быту; в торговле, в предварительных инженерных прикидках, предварительных научных поисках: на десяти пальцах очень удобно.

Человеку удобно на десяти пальцах, машине — на двух: 0 и 1, «да» и «нет», «включено» и «выключено» — всего два сигнала нужно, чтобы представить и запомнить любое число, любую команду, любую информацию.

На 46 клавишах обычной пишущей машинки располагаются 59 символов; здесь буквы, цифры, знаки препинания, сложения, равенства, кавычки, скобки. Очень удобно человеку, но страшно неудобно ЭВМ, если мы хотим научить ее понимать и запоминать информацию, что несут все эти разнообразные символы. Ей желательно, чтобы вся информация выражалась все теми же двумя символами — нолем и единицей. Правда, при такой записи, например, всех чисел от 0 до 99, вместо двух знаков десятичной системы придется использовать семь знаков, представляющих ту или иную комбинацию нолей и единиц. С точки зрения экономичности записи очень невыгодно. Но эта проблема не беспокоит ЭВМ, она ее решает «не уменьем, а числом».

Большая Советская Энциклопедия, издание которой закончено в 1957 году, включает 50 томов. В каждом томе в среднем насчитывается круглым счетом 4 миллиона печатных знаков. Значит, все содержание энциклопедии изложено с помощью 200 миллионов знаков. Пусть разнообразие этих знаков на разряд выше, чем у обычной пишущей машинки. Чтобы охватить это разнообразие двоичной системой, для каждого из знаков нужно восьмиразрядное двоичное число, комбинация восьми нулей и единиц. На всю энциклопедию, значит,

понадобится 1 миллиард 600 миллионов нулей и единиц.

Мощной ЭВМ ничего не стоит запомнить всю эту информацию, причем в случае необходимости в ее «мозгу» можно предусмотреть место еще для одной энциклопедии. Гигантская автоматическая память — вот что такое ЭВМ. Но не только это!

Человек в процессе вычислений выполняет различные арифметические операции. Но это не все, что ему приходится делать, если он не просто учит наизусть, например, таблицу умножения. Обычно числа, над которыми надо выполнить эти операции, приходится выбирать из расчетов, инструкций, таблиц, прейскурантов, справочников. Чтобы знать, что делать с полученным результатом, нужно заглянуть куда-то, откуда видно, что, например, получив какой-то результат, нужно его теперь умножить на то или иное число из колонки 1, а умножив, занести в колонку 2. Наконец, окончательный и некоторые промежуточные результаты надо записать на бумаге.

Информация сама по себе бесполезна. ЭВМ, как и человеку, нужно сказать, что с ней делать — сложить или вычесть, умножить или разделить хранящиеся в ее памяти сигналы, из какого «угла» их взять, куда направить результаты. Поэтому в память машины всегда вводят инструкции, подготовленные человеком, определяющие порядок операций при решении той или иной задачи. Совокупность таких инструкций называют программой. ЭВМ может видоизменить данные ей инструкции. Если задача не решается одним способом, машина «пороется в памяти» и попробует другой способ, третий — до тех пор, пока не придет к решению или не исчерпает всех способов, которые она знает. Проделывает она эти операции с гигантской скоростью. Логические цепи машин включаются и выключаются за одну миллиардную долю секунды. Складывается впечатление, что с помощью ЭВМ можно действительно пересчитать все, что угодно.

ЭВМ уже сегодня заменяют миллионы людей умственного труда, заменяют их в конторах и учреждениях, в исследовательских институтах и торговле, на транспорте и на производстве, заменяют их там и тогда, где и когда их труд, хотя его и называют умственным, по существу, сводится к выполнению массы вычислений, является однообразным, утомительным, не требую-

щим воображения, творчества, инициативы, всех тех качеств, которые присущи человеческому уму.

Но автоматизация такого вычислительного труда не единственная «умственная» обязанность, которую уже сегодня возлагают на ЭВМ.

Длительное хранение любой информации — научной, технической, торговой, медицинской, технологической; выдача ее «в мгновение ока» по первому требованию, упорядочение этой информации по тем или иным признакам, которые вы пожелаете указать: по сортам, по видам, по диагнозам, стоимостям, размерам, цветам, мало ли что вам может понадобиться для дела, — вот еще одна специальность ЭВМ.

Хранение, упорядочение, выдача информации — все это не только и не столько вычислительные функции, сколько функции запоминания, выполнения логических действий, преобразований. И эти информационные функции, выполнением которых занята сегодня уйма людей, поддаются автоматизации, могут быть переданы и уже передаются ЭВМ. Не зря ЭВМ называют иногда роботами в белых воротничках, подчеркивая этим названием, что они заменяют людей, занимающихся «чистым», умственным трудом, работой, которую можно делать в белой рубашке.

ЗА РУЛЕМ

К оживленному перекрестку на большой скорости приближается такси. Водитель следит за сигналами регулировщика или светофора, наблюдает за машинами, движущимися впереди, слева, справа. Он не только следит — он действует, принимает решения, управляет машиной. Он должен предусмотреть все, что может произойти, решить, будет ли ждать вот этот пешеход, пока машина проедет, или очертя голову кинется через перекресток. Он должен рассчитать, с какой силой надо тормозить, чтобы обеспечить полную безопасность проезда перекрестка. Окружающий его внешний мир чрезвычайно сложен, стратегия и тактика этого мира слагаются из стратегий и тактик десятков машин и сотен людей. Он должен быстро ориентироваться в этом мире, безошибочно действовать в самых сложных ситуациях. Не кажется ли вам, читатель, что понятие «физический труд» не очень подходит для описания всех этих обя-

занностей, составляющих процесс управления, хотя шоферов и относят к лицам физического труда?

Водитель, управляющий автомобилем, трактором, комбайном, — один из множества примеров, когда человек управляет машиной без вмешательства ЭВМ.

Понятно, что до появления ЭВМ так действовала вся техника, которой было вооружено человечество.

Прежде чем космический корабль отправится в путь, даже еще прежде, чем его начнут строить, он уже успевает много раз совершить то путешествие, для которого предназначен. Это путешествие он проделывает в формулах и расчетах. Его запускают с теоретической «стартовой площадки»; каждый этап, каждый маневр космического полета опирается на бесчисленные математические операции и выкладки, учитывающие особенности самого корабля и устройств его запуска, силы, действующие на него в полете, предусматривающие любые случайности, возможные при запуске, полете, посадке.

Но вот корабль отправляется в настоящий полет. В этом полете его сопровождает специальная бортовая ЭВМ. Начинается настоящее управление кораблем, управление, в процессе которого время нельзя ни растянуть, ни сжать, ни повернуть вспять, нельзя «переиграть» заново аварийную ситуацию, нельзя ни на мгновение «оторвать руки от руля».

Орбитальные полеты, встречи в космосе, посадка на Луну, возвращение на Землю, маневрирование в космосе, навигация, вход в плотные слои атмосферы на пути домой и сопряженные со всеми этими и другими составляющими космического полета процессы управления требуют непрерывного участия или соучастия ЭВМ, требуют мгновенных решений и расчетов, превышающих способности человека.

Не думайте, что ЭВМ ведет космонавта за руку по космическим пространствам. У него уйма своих забот, но это заботы человеческие, с которыми он может справиться благодаря своим физическим и умственным возможностям (у космонавта эти возможности должны быть развиты в высшей степени!). А функции, требующие сверхчеловеческих возможностей, берет на себя ЭВМ.

Управлять космическим кораблем в одиночку человек не может. Без ЭВМ не было бы космических полетов, высадки на Луну, мы не знали бы, как она выгля-

дит вблизи. И это только один пример того, чего мы были бы лишены без ЭВМ.

Управление — вот еще одно гигантское применение ЭВМ буквально во всех областях человеческой деятельности. Вывеску с надписью «ВЦ» вы можете увидеть в Госплане Союза ССР, там ЭВМ помогают управлять экономикой страны; в министерствах и ведомствах они обеспечивают управление деятельностью отрасли, на заводах — управление производством и используемым там оборудованием.

Человек вдвоем с ЭВМ может справиться с невероятно сложными процессами управления. Ну а с какими процессами управления может справиться ЭВМ без непосредственного участия человека в этом процессе?

Прокатный стан на сталелитейном предприятии катает из раскаленной заготовки (ее называют слябом) стальную ленту толщиной в бумажный лист и длиной 400 метров. Этой сложной работой управляет ЭВМ.

Но прокатный стан — машина узкоспециализированная. Его продукция всегда одна и та же — лента, даже если одна партия ленты должна быть немного толще, другая тоньше. Главная задача ЭВМ — обеспечить высокую производительность и высокое качество работы стана. А есть множество машин, продукция которых очень часто меняется. К их числу в первую очередь относятся металлорежущие станки. Они предназначены для обработки любых изделий, любой формы, самых различных размеров; их так и называют универсальными станками. 30 лет назад для управления этими станками были нужны люди — токарь, фрезеровщик, сверловщик.

Мы уже упоминали, что экономисты отнесли к «чудесам XX века» наряду с ЭВМ и ядерной энергией станки с цифровым управлением, на которых можно обработать любое изделие без участия человека. 20 лет назад уже тысячи таких станков обрабатывали металл в цехах машиностроительных заводов. Сегодня таких станков десятки, сотни тысяч, будут их миллионы. Но прогресс в этой области не исчерпывается одной только количественной стороной.

ЭВМ рассчитывает программу, по которой должен работать станок. Эта программа наносится в определенном коде на тот или иной так называемый носитель информации, например, в виде «отметок» на магнитную

ленту; изменяется обрабатываемое изделие — меняется лента.

При всей гибкости и универсальности такой системы ей свойствен существенный недостаток. Между станком и ЭВМ вклинивается нежелательный посредник — магнитная лента, — требующий дополнительного оборудования и времени для записи и считывания программ, снижающий оперативность взаимодействия двух машин — технологической (станок) и управляющей (ЭВМ).

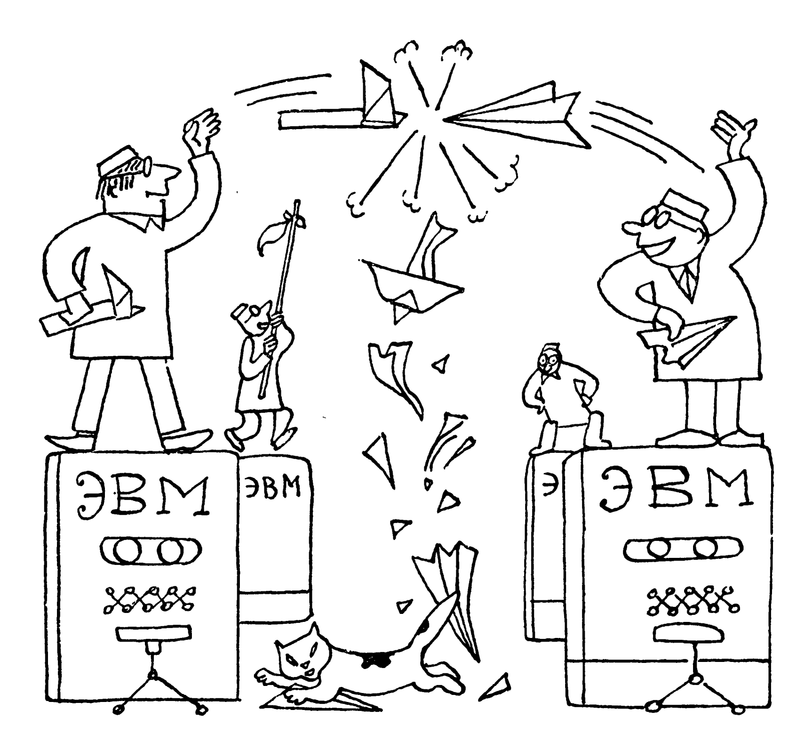
20 лет назад ЭВМ были громоздки и более дороги, чем сегодня. Тогда казалось недопустимо расточительным и технически невозможным соединять «напрямую» каждый станок или группу станков со своей «персональной» ЭВМ.

Сегодня все начинает выглядеть по-другому, причем не только в умах ученых и инженеров, но и в конкретных разработках, макетах, станках, целых участках станков, непосредственно управляемых ЭВМ.

Две машины работают в тесном контакте, непрерывно обмениваясь информацией, работают в таком темпе, в каком не может работать ни один токарь или фрезеровщик, ни один человек. Можно не сомневаться, что многие из тех миллионов станков, что войдут в строй через 15—20 лет, будут иметь свои собственные ЭВМ — малогабаритные, быстродействующие, надежные, придающие станкам многие из тех свойств и качеств, какими они обладали, когда ими управлял человек — токарь и фрезеровщик, и придающие им, кроме того, ряд других полезных качеств, какими не обладает ни один человек.

Металлорежущие станки — машины с более высоким уровнем универсальности, чем прокатный стан. И для того чтобы в полном объеме использовать эти их свойства, управляющие ЭВМ должны осуществлять функции значительно более сложные, чем при управлении прокатным станом.

Несколько приведенных примеров, как кажется, достаточно наглядно иллюстрируют возможность ЭВМ находиться «за рулем» самых различных машин, управлять движениями всех их механизмов и устройств. Не правда ли, какие разнообразные функции выполняют ЭВМ? Они производят сложнейшие вычисления, запоминают гигантское количество информации и с ко-



лоссальной скоростью ее обрабатывают, они быстро и точно управляют машинами, осуществляя все более сложные функции управления без вмешательства человека.

Исполнительные механизмы различных машин, механические руки и управляющие ими системы, электронный «мозг» сращиваются все теснее и теснее. Они превращаются в единое целое — в автоматические машинные комплексы с цифровым управлением. Это уже предки тех машин, что сегодня называют роботами, это их ближайшие родственники, вместе с которыми они уже начали работать бок о бок.

Промышленные роботы — машины с цифровым управлением, не появились сами по себе, внезапно и неожиданно, их предшественники — самые различные системы цифрового управления. Они наравне с другими системами техники неизбежное порождение научно-технического прогресса, им предстоит занять важные позиции на фронте автоматизации самых разнообраз-

ных технологических процессов. Именно поэтому со словом «роботы» мы встретились только в конце этой главы, в которой попытались коротко рассказать о том, что служило и служит научной и технической «питательной средой» для их появления и совершенствования, об «ЭВМ-революции» и ее последствиях. И еще одно замечание нужно сделать, прежде чем двигаться дальше.

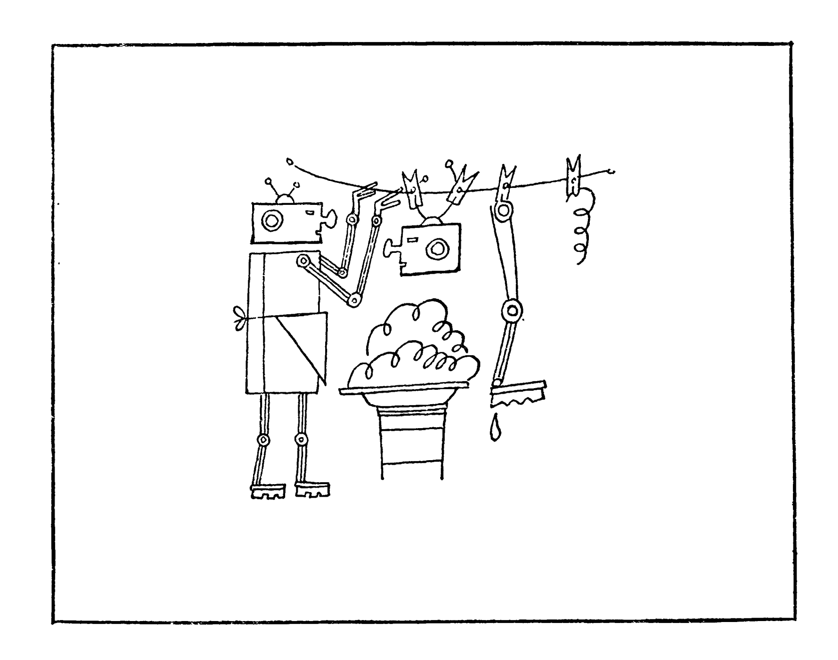
Если бы вопрос: «Кто умнее — ЭВМ или человек?» — сводился к тому, кто быстрее считает, больше помнит, точнее управляет, то человек из этого соревнования выбыл бы уже сегодня. Только вот он никак не соглашается, что живой человеческий ум, интеллект можно вместить даже в такие, казалось бы, очень широкие рамки — и считать, и запоминать, и управлять! Специально для ЭВМ, специально для того, чтобы отделить машину от человека, были придуманы новые понятия — «искусственный мозг», «искусственный интеллект». В этих понятиях нам волей-неволей придется разобраться, тем более что искусственный интеллект для роботов — это как раз то, что придает им качества, которые все-таки напоминают человеческие.

Наука и техника начали новый, уже четвертый тур попыток создать нечто «по образу и подобию». Теперь мы знаем, что они располагают такими средствами и возможностями, накопили такой опыт, вооружены такими идеями, что попытки эти делаются с самыми серьезными намерениями. Учитывая это, нам теперь просто необходимо поговорить о том, что же представляет собой тот живой оригинал, по которому собираются строить технические копии.

Как он устроен, как устроены мы с вами, как мы движемся и действуем? Не зная этого, как можно судить о том, хороша ли копия, какими из свойств и качеств оригинала она обладает?



ТЕЛО, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ



ГЛАВНЫЙ ВОПРОС

Нам с вами, выписывающим журнал «Здоровье», регулярно слушающим радиопередачи на медицинские темы, знающим пользу витаминов и вред гриппозных заболеваний, трудно себе представить, что ученые и врачи, образно говоря, «открыли человеческое тело» позже, чем Колумб открыл Америку.

Нельзя, конечно, сказать, что человека не интересовала эта «часть самого себя», ее устройство, заболевания и лечение. Наоборот, мы знаем, что очень интересовала, причем очень давно. История донесла до нас наряду с другими именами великих людей древности имя выдающегося врача Древней Греции Гиппократа, жившего в V веке до нашей эры.

Учение Гиппократа и его последователей составляет удивительную смесь наивных представлений, здравых утверждений, полезных рекомендаций. Именно гиппо-

кратики выдвигали в качестве основного принципа медицины требование лечить не болезнь, а больного. Но единственным источником анатомических и физиологических знаний у них служили вскрытия животных, поскольку вскрытия человеческого тела тогда и многие столетия спустя строго запрещались. Поэтому их конкретные знания были скудны, часто неверны и вели к ошибочным представлениям об устройстве человеческого тела и функциях его отдельных частей.

Школа Гиппократа учила, что жизненно важные задачи выполняют четыре разнородные «жидкости тела» (?!): кровь, слизь, желтая желчь и черная желчь. Когда эти жидкости находятся в теле в гармоническом сочетании, тело здорово. Если же пропорция нарушается, наступает болезнь. «Оживотворяющим началом» тела, они думали, является природная теплота, причину которой составляет пневма, особый род тонкого эфирного вещества, циркулирующего в сосудах тела. Старики отличаются от молодых тем, что имеют меньше природной теплоты и т. д. и т. п. На основании такой, мягко говоря, неточной картины устройства человеческого тела гиппократики делали неожиданный и удивительный вывод о зависимости количества жидкостей тела от внешних условий, климата, состояния атмосферы и др. А далее следовали совершенно здравые утверждения о том, что в лечении и предупреждении болезней большое значение имеют гигиена быта, режим жизни, диета; что исход болезни, ее прогноз зависят от природных сил организма; что все назначения врача, касающиеся лечения и режима больных, должны быть строго индивидуализированы. Суждение буквально сегодняшнего дня — прямо по журналу «Здоровье».

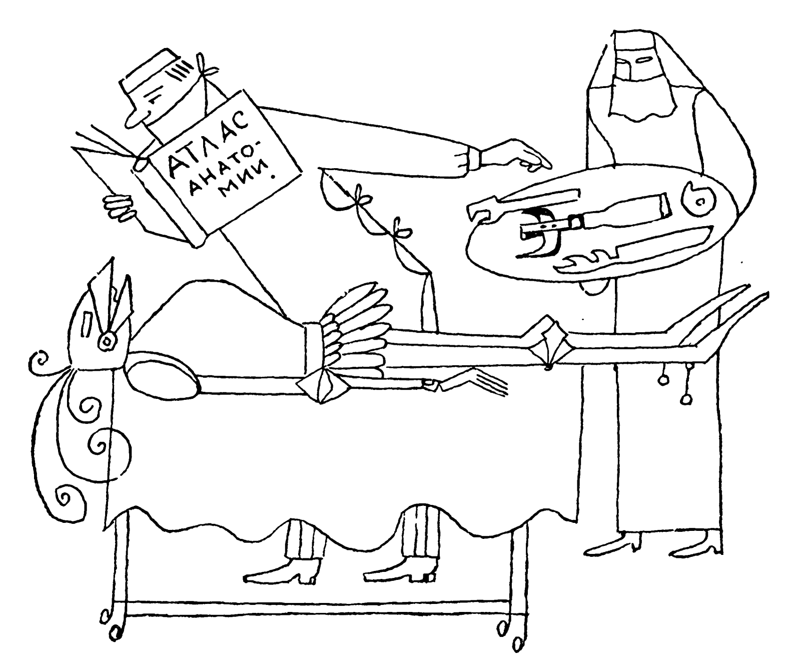
Наивный материализм древних греков во всех областях знаний господствовал и в области медицины и оказывал большое влияние на ее развитие в дальнейшем. Однако в последующие века земной шар стал обволакивать густой туман всяческих религий и мистики. Почти две тысячи лет прогресс человечества шел буквально черепашьим шагом. Опытное познание мира, эксперименты подменялись схоластическими умствованиями. Помощь болящим оказывалась молитвами и заклинаниями, снадобьями, мазями, зельями и порошками, полученными методами черной и белой ма-

гий, и подкреплялась оптимистическим: «Бог дал — бог взял».

Время, когда этот туман стал рассеиваться, назвали эпохой Возрождения. Это была эпоха Леонардо да Винчи, Христофора Колумба, Галилео Галилея. Она донесла до нас также и имя Андрея Везалия, уроженца города Брюсселя, реформатора анатомии, развившего новый метод ее изучения, основанный на неоспоримых фактах, добытых путем вскрытий человеческого тела. Его книга «О строении человеческого тела» явилась началом современной анатомии. Опубликованная в 1543 году, на 50 лет позже того, как Х. Колумб на своих каравеллах подошел к берегам Америки, она впервые открыла человеку человеческое тело.

Художники под руководством А. Везалия рисовали то, что он увидел, понял, изучил. Эти рисунки производили на современников неизгладимое впечатление, тысячи людей учились на них, освобождались от пут средневековой схоластики и теологии.

Как и многим другим выдающимся личностям эпохи Возрождения, А. Везалию тяжело достались его не-



уемное любопытство и жажда правды. Непрерывная борьба с тяжелым гнетом церкви создала ему много врагов, а инквизиция нашла поводы для обвинения его в ереси, судила и приговорила к паломничеству в Палестину. Тогда это было трудное и опасное путешествие. А. Везалий попал в кораблекрушение, больной был выброшен на один из островов Средиземноморья, где и умер.

Кажется, трудно поверить, что большинство фактов анатомии человека, известных сегодня студентам и школьникам, 400 лет назад не были известны никому. Но это может показаться только тому, кто мало представляет, как трудно шла и идет наука к глубокому познанию живого, и, в частности, к познанию тела, в котором мы живем, и как еще мало мы его знаем.

Все, что составляет окружающий нас мир, можно классифицировать по самым различным признакам: вещества — по их состояниям, металлы и материалы — по химическому составу, растения и животных — по семействам и родам, сотрудников учреждений — по занимаемой должности, книги — по формату, объему, лошадей — по породам, колбасу — по сортам.

Но есть признак, который самым существенным образом разграничивает все, что было, есть и будет в нашем мире. Этот признак — живое и неживое.

Вместе с животными и растениями человек стоит по одну сторону грани, а по другую — создания рук человеческих вместе с неживой природой. Две главнейшие особенности образуют эту грань.

Любой живой организм должен питаться и иметь пищу, чтобы жить. Пища и питание обеспечивают ему тот постоянный процесс обмена веществ с окружающей средой, с прекращением которого прекращается сама жизнь. Растения питаются через корни, животные питаются растениями либо другими животными, которые используют растительную пищу. Этот порядок остается неизменным для полумиллиона видов растений и полутора миллионов видов животных, населяющих наш мир.

Любой живой организм обладает свойством воспроизведения по своему образу и подобию, обеспечивающим непрерывность и преемственность жизни. Береза, сосна и яблоня, пшеница, морковь и крапива размножаются семенами. Курица несет яйца, из которых вылупляются цыплята. Лошади и собаки приносят благо-

родный приплод, который до появления на свет снабжают родословными, насчитывающими десятки поколений. Родильные дома, ясли, детсады и школы полны наших ближайших потомков, которые едят и пьют, плачут и смеются, учатся ходить и падать, читать и писать, разговаривать и работать, чтобы затем заменить нас в том процессе, который называется «смена поколений».

Растения с давних времен отличали от животных по признакам неподвижного образа жизни и по отсутствию у них «чувствительности». Выдающийся шведский натуралист Карл Линней 200 лет назад писал: «Растения растут и живут, животные растут, живут и чувствуют». Эти признаки сейчас носят лишь приблизительный характер. Со времен К. Линнея обнаружено много животных, прикрепленных к месту своего обитания; существуют растения, ведущие подвижный образ жизни. И раздражимость оказалась в большей или меньшей степени свойственной не только животным, но и растениям.

Однако, попав в мир живого, не следует забывать о том, зачем мы сюда пришли. Нас интересует человек — живое существо, способное не только жить, расти и чувствовать, но еще и наблюдать и мыслить, вслух и членораздельно излагать свои мысли, производить орудия труда и использовать их, воздействуя на окружающий мир.

Не будем отвлекаться рассуждениями о том, что здесь перечислено далеко не все, на что способно и к чему призвано это существо, представляющее высшую ступень развития живых организмов. Что, например, по уровню подвижности оно иногда мало отличается от растений, что иногда оно ест и пьет больше, чем надо, наблюдает и мыслит меньше, чем следует, излагает вслух совсем не то, что мыслит, производит орудия труда и ширпотреб низкого качества, а воздействуя на окружающий мир, ухудшает его, вместо того чтобы улучшать.

Это все бывает только иногда, это нетипично, и, главное, совсем не эти особенности имеются в виду, когда речь идет об искусственном воспроизведении способностей человека, о работе технической копии живого оригинала. Копия ведь не может и не должна в точности повторять все свойства и особенности оригинала.

Скульптурный портрет не может передать естествен-

ной окраски и тепла живого тела и всей гаммы чувств, которые может выражать человеческое лицо. Живописный портрет не копирует реальную перспективу и пространство, а лишь «обманным» путем создает у нас впечатление пространства, объема. Скульптурный и живописный портреты могут вызывать у нас ощущение движения, но воспроизвести само движение оригинала они бессильны.

«Животноподобные» и «человекоподобные» создания В. Дро, И. Кулибина не только внешне копировали живой оригинал. Андроиды — писцы, флейтисты, музыканты — не только по внешнему виду, по размерам и окраске были похожи на настоящих людей. Они, кроме того, еще умели двигаться, двигать руками и ногами, играть на флейте и писать гусиным пером. И все эти движения они умели совершать в реальном пространстве. Так почему же они так и остались игрушками? В чем копия должна повторять оригинал, чтобы стать его полезным помощником, а не просто игрушкой? Каковы все-таки особенности и свойства живого прототипа, которые стремятся воспроизвести ученые и инженеры, работающие в области робототехники? Вот главный вопрос, ответив на который мы поймем, какую цель они ставят перед собой, на что они, так сказать, замахиваются.

У БУФЕТНОЙ СТОЙКИ

Очередь медленно, но верно продвигается вперед, и вы приближаетесь к буфетной стойке. Совсем немного времени прошло с тех пор, как оторвались от своего дела, в которое были погружены с головой, но этого времени хватило, чтобы рассредоточиться, расслабиться и оглядеться.

Впереди еще несколько человек, и еще несколько минут пройдет прежде, чем можно будет заняться меню. Рассеянный взгляд скользит по длинному прилавку, часть которого занята застекленной витриной. В витрине большой противень с жареной рыбой, бутерброды с сыром и колбасой, несколько сортов сдобы, конфет и шоколада. Витрина справа от буфетчицы, а слева от нее за прилавком два ящика: с яблоками и апельсинами. Позади буфетчицы еще один прилавок. На его ближнем к вам конце — прямоугольный бак с электро-

подогревом, полный сосисок, дальше стоят весы, большой поднос со стаканами, горки тарелок и тарелочек, два титана — с чаем и кофе. И единственное действующее лицо — буфетчица, женщина средних лет в белом халате с закатанными по локоть рукавами.

Вы замечаете, что по мере того, как очередь приближается к прилавку, разговоры вокруг вас стихают. Все смотрят, как работает буфетчица. И вы смотрите. Вы не слышите очередного заказа, но вам и не надо его слышать. Вы все видите.

Вот она поворачивается к прилавку позади себя и делает пару шагов к бачку с сосисками. В это же время начинают двигаться ее руки. Левая рука берет очередную тарелочку из горки, а правая — плоские щипцы, лежащие на тарелке около бака. Скупыми и быстрыми движениями, по одному на сосиску, она выуживает их из бака, укладывая на тарелочку, затем щипцами прижимает сосиски, сливая воду, набравшуюся в тарелочку, ставит тарелочку на платформу весов, бросает взгляд на циферблат. Поворачивается, ставит тарелочку на прилавок и вновь поворачивается, теперь уже в другую сторону — к блюдцам, стаканам и титану с кофе. Она еще только кончает поворачиваться, а в ее левой руке оказывается блюдце, в правой — стакан. К моменту, когда поворот тела окончен, стакан стоит на блюдце, а правая рука тянется к крану титана. В стакан льется кофе, правая рука точными движениями отмеряет две ложечки сахарного песка, ложечка снова в тарелке с сахаром, кран закрыт, стакан кофе вместе с полагающимся к нему облачком пара уже стоит на прилавке рядом с сосисками, а в руках у буфетчицы очередная тарелочка, в которую ложится сдобная булочка. Эта тарелочка еще не коснулась стойки, а буфетчица совершает полуповорот налево и полунаклон к ящику с апельсинами, ее пальцы откатывают несколько плодов (пожалуйста, помельче!), захватывают один, другой, тело выпрямляется и заканчивает поворот к весам. Апельсины на платформе весов. Легким прикосновением руки буфетчица останавливает их движение, бросает взгляд на циферблат. Весь заказ на стойке, щелкают счеты, она называет сумму, получает деньги, дает сдачи, вытирает руки полотенцем, с улыбкой обращается к следующему покупателю, затем к следующему...



Какое множество самых разнообразных движений она совершила за одну-две минуты! Чайную ложечку, блюдце, стакан, апельсин, щипцы нужно взять по-разному, по-разному сложить пальцы, развить разные усилия. Как точно нужно рассчитать движения рук, чтобы тарелочки не ударялись о платформу весов, а мягко на нее ставились, чтобы сосиски не соскальзывали с тарелки, чтобы щипцы их не раздавливали, чтобы кофе не выплескивался из стакана за время его движения от титана к стойке! Как удается так складывать движения и ног, и корпуса, и рук, и пальцев, чтобы налитый почти до края стакан все время занимал горизонтальное положение?

— Ну да, обычно говорят — привычка, тренировка. Но когда буфетчица наливала кофе одному покупателю, она стояла на одном расстоянии от бака и от прилавка, а наливая другой стакан, она стояла в другом месте, наливая чай, она снова изменила положение, каждый стакан она несла по-разному. Одним и тем же был всегда только результат — очередной стакан, не пролив из него ни капли, она быстро и точно ставила на прилавок так, чтобы покупателю было удобно его

взять. Каждый раз, казалось бы, одно и то же движение ей приходилось выполнять по-разному, разные сочленения живого механизма двигались по-разному, с разными амплитудами и скоростями.

— Да, да, понятно! Значит, когда говорят о привычке, тренировке, то включают в это понятие умение мгновенно и нужным образом варьировать привычные, натренированные движения, управлять ими так, чтобы каждый раз достигать нужного результата. Да, но как и где производится оценка этих вариаций и как решается вопрос, за счет каких движений нужно их выполнять — шагнуть ли, наклониться или вытянуть руку?..

Ваши размышления внезапно прерваны. Очередь подошла!

— Что, что? Ах, извините, пожалуйста, я немного задумался! Мне, пожалуйста, кусочек жареной рыбы, сто граммов колбаски, вон той, полукопченой...

И начинается следующая часть «немого фильма». Левая рука удобно ухватывает батон колбасы, а правая уже держит острый нож. Два этих предмета — колбаса и нож — встречаются на рабочем месте — специальной доске. Опять все новые и новые движения, мелкие и размашистые, быстрые и плавные, легкие и сильные, движения, в которых участвуют то одни только пальцы, то вся рука, а то и ноги, и все тело.

И все эти разнообразные движения и действия умеет совершать и совершает один и тот же человек, один и тот же! Вот, оказывается, в чем состоит одна из главнейших особенностей того живого прототипа, механическую копию которого уже давно окрестили роботом.

Легко представить себе автомат, который только отпускает кофе, или только взвешивает апельсины, или только режет колбасу. Человека дома и на работе, на земле и в воздухе, на фабриках и заводах окружают такие автоматы. Они выполняют сравнительно узкий круг обязанностей, совершают наперед определенный, обычно очень скромный набор движений. За «железный порядок» и организованность работы в популярных книгах эти машины часто называют роботами. Но они все-таки не то, что отвечает нашему интуитивному представлению о роботе как о машине, чем-то напоминающей человека, и постепенно их перестали так называть.

Этим автоматам, как игрушечным андроидам, не

хватало того главного, что свойственно человеку: двигательного богатства, способности к воспроизведению бесконечного множества самых разнообразных движений, способности по своему желанию бесконечно их изменять.

30 лет назад мы не могли и мечтать о том, чтобы создать машину, по свободе движений хотя бы в первом приближении напоминающую живое существо. В «начинку» машины можно было поместить целый комплекс самых разнообразных механизмов и получить таким образом богатый набор ее движений. Но это был бы один и тот же, наперед заданный набор, изменить который можно, только изменив «начинку» машины.

А затем появились ЭВМ — особый класс машин, для которых и «сырьем» и «готовой продукцией» является информация, одни только числа и сигналы. В «начинке» этих машин нет механизмов, раз навсегда связывающих их «входы» и «выходы» неизменным образом. Они действуют на цифровых механизмах — универсальных и гибких, и эти механизмы и их свойства оказалось возможным использовать не только для автоматизации сложных вычислений и решения сложных математических задач, но также и для автоматизации процессов управления машинами. Мы теперь уже знаем, что это за машины. Это в первую очередь самые разнообразные станки и машины с программным управлением.

«Рука» станка, держащая инструмент, теперь может относительно заготовки совершать множество различных движений. В смысле богатства движений станок с программным управлением ушел далеко вперед от станков традиционного типа. Однако вся его конструкция в целом и функции, которые он выполняет, остались прежними. Если это фрезерный станок, то он только фрезерует, если токарный — только точит, если сверлильный — только сверлит.

Образно говоря, дело было сделано только наполовину: новый способ управления был применен к машинам традиционного типа. Это дало гигантский технический и экономический эффект, но к станкам с цифровым управлением так и не привилось название «роботы в синих воротничках», несколько лет тому назад мелькавшее на страницах зарубежных журналов.

Лишь когда гибкую и универсальную систему управ-

ления «спарили» с гибким и универсальным рабочим органом, когда цифровые механизмы использовали для управления «механическими руками», тогда возникла возможность попытаться техническими средствами воспроизвести систему, обладающую высокими двигательными возможностями. Вот тогда повсюду, где бы ни работали над созданием таких машин — машин нового типа, — хором прозвучало слово «робот»...

— Что, что? Сколько я должен?

Крайне досадно, но стройный порядок ваших размышлений опять нарушен. Весь заказ уже налицо. И колбаса, нарезанная аккуратными ломтиками, и кусочек жареной рыбы, и хлеб, и масло, и чай с лимоном и облачком пара. Удивленное лицо буфетчицы, глухой ропот очереди вынуждают со спешкой и неуклюжестью, недостойной царя природы, добывать из многочисленных карманов не приготовленные заранее деньги.

ЖИВОЙ МЕХАНИЗМ

«Все бесконечное разнообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению — мышечному движению. Смеется ли ребенок при виде игрушки, улыбается ли Гарибальди, когда его гонят за излишнюю любовь к родине, дрожит ли девушка при первой мысли о любви, создает ли Ньютон мировые законы и пишет их на бумаге — везде окончательным фактом является мышечное движение. Чтобы помочь читателю поскорее примириться с этой мыслью, я ему напомню рамку, созданную умом народов, в которую укладываются все вообще проявления мозговой деятельности, рамка эта — слово и дело. Под делом народный ум разумеет, без сомнения, всякую внешнюю механическую деятельность человека, которая возможна лишь при посредстве мышц. А под словом уже вы вследствие вашего развития должны разуметь, любезный читатель, известное сочетание звуков, которые произведены в гортани и полости рта при посредстве опять тех же мышечных движений».

Такими словами великий русский физиолог И. Сеченов выражал более 100 лет назад материалистический взгляд на психическую, интеллектуальную деятельность человека. Посредством движений человек взаи-

модействует с окружающим миром, движениями выражает свои ощущения, движениями реализует свои намерения.

Эти слова — из его книги «Рефлексы головного мозга», изданию которой противилось царское правительство и которая навлекла на ее автора неудовольствие властей предержащих. Против И. Сеченова было даже возбуждено судебное преследование.

Каким же образом наше тело обеспечивает такое великое множество движений, каким механизмом снабдила его природа и как этот механизм действует?

Согните пальцы правой руки в кулак. А теперь разогните указательный палец и взгляните на него так, будто видите первый раз в жизни. Подвигайте им и, если хотите, ощупайте его пальцами левой руки. Убедитесь, что он состоит из трех косточек, которые могут сгибаться одна относительно другой. Пользуясь терминами механики, можем назвать указательный палец трехзвенным механизмом, его фаланги — звеньями, а суставы, соединяющие фаланги, — шарнирными сочленениями или просто шарнирами. Крайняя, третья фаланга пальца — конечное звено механизма — может поворачиваться относительно следующей, второй, только одним способом — в направлении ее сгибания и разгибания; как говорят в механике, она обладает одной степенью подвижности. И вторая фаланга относительно первой тоже может сгибаться и разгибаться только в одном направлении — еще одна степень подвижности. Первая фаланга может поворачиваться относительно пясти — еще одна степень подвижности. Закрывая палец в кулак, вы используете одновременно все три степени подвижности.

А теперь откройте кисть, поверните ее ладонью вверх и попробуйте отвести указательный палец вправо. Удалось? Вот еще одна степень подвижности. Так устроены четыре пальца руки — каждый имеет четыре степени подвижности. Пятый палец — большой, состоит из двух костей, сообщающих ему две степени подвижности, а благодаря подвижности кости пясти, с которой он шарнирно соединен, получает еще две степени подвижности и, таким образом, тоже обладает четырьмя степенями подвижности. Итак, только пальцы и только одной руки обладают двадцатью степенями подвижности.

Откройте теперь пальцы и подвигайте всеми ими, расслабив кисть. Заметьте, как свободно движется пясть, к которой присоединены все пять пальцев, и как благодаря этому значительно расширяется подвижность всей кисти. Пясть состоит из восьми костей, которые в очень небольших пределах, но все-таки могут двигаться одни относительно других.

Из 206 костей, составляющих скелет нашего тела, свыше 50 образуют кисти рук. Свыше 50 звеньев, обладающих большой, ограниченной или малой подвижностью, образуют механизмы кистей с пальцами! В технике таких механизмов нет.

Вот почему буфетчице удавалось так легко и быстро брать блюдце и чайную ложечку, нож и стакан, апельсин и щипцы. Вот почему человек с одинаковой легкостью берет щепотку соли, молоток и напильник, шариковую ручку, перо и винтовку, иголку, горсть песка и ручку мясорубки.

Рука состоит из кисти, предплечья и плеча. Кисть присоединена к предплечью сложным сочленением, позволяющим сгибать ее в двух направлениях и поворачивать относительно продольной оси — еще три степени подвижности. Чрезвычайно подвижным сочленением является плечевой сустав; будучи шаровой конструкцией, он обеспечивает большую свободу движений в трех направлениях. Три сустава — три шарнира руки: лучезапястный, локтевой и плечевой — добавляют 7 степеней подвижности к тем 20 степеням, какими обладают пальцы кисти. Итак, механизм руки имеет ни много ни мало 27 степеней подвижности. Такой свободой движений не обладает ни одно техническое устройство, и ни одно даже не приближается к такому уровню подвижности. И вторая рука обладает еще 27 степенями свободы.

Но это еще не все, если говорить о подвижности нашего тела в целом. Она ведь достигается не только за счет рук. Человек — позвоночное животное. Его руки посредством лопаточных костей, ключиц, ребер присоединены к основе скелета, к позвоночнику, составленному из 33 массивных костей — позвонков. Из них 24 позвонка обладают хотя и очень ограниченной, но все-таки определенной подвижностью один относительно другого. Позвоночный столб — гибкая, гнущаяся в любых направлениях колонна, сообщающая телу, всем

его отделам чрезвычайно высокую устойчивость и вместе с тем подвижность. И наконец, большой вклад в подвижность тела вносит еще один механизм — опорно-двигательный аппарат — ноги, которые по своему устройству напоминают устройство рук и также состоят из десятков костей, обладающих относительной подвижностью. Остается только удивляться тому, с какой щедростью, с каким избытком подвижности «сконструировала» природа «живой механизм».

Скелет нашего тела, этот живой механизм, покрыт мышцами, обеспечивающими сгибания и разгибания каждого из подвижных сочленений. Одну только кисть с пальцами обслуживают 28 мышц, а вся скелетная мускулатура насчитывает не одну сотню мышц — двигателей этой невероятно сложной и подвижной машины. И здесь природа не поскупилась, обеспечив человека такими широкими возможностями двигаться и строить движения при самых различных нагрузках и сопротивлениях, в самых необычных условиях, что до сих пор вопрос о предельных возможностях человеческого организма является предметом острых дискуссий физиологов, медиков, специалистов по спорту.

Человеческий организм наряду с прочими его качествами — своеобразный двигатель внутреннего сгорания, потребляющий в день приблизительно 2 килограмма пищи, такое же количество жидкости и до 1 килограмма кислорода. Ни один из существующих сегодня искусственных источников энергии не может сравниться с человеческим организмом в отношении той рациональности, с какой горючее в нем превращается в энергию.

Путем тщательных, длительных тренировок можно добиться от этой «машины», 40 процентов веса которой составляют мышцы, самых невероятных результатов. Об этом сегодня знают миллионы любителей спорта, об этом свидетельствует история циркового искусства, умельцы «подковать блоху» всех профессий и специальностей.

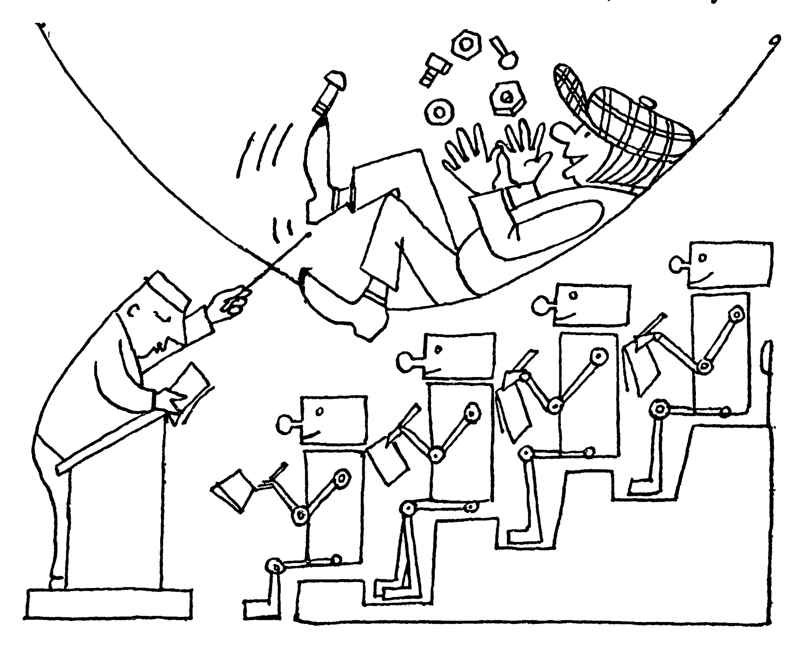
Кому из любителей цирка не известно имя Олега Попова, выдающегося циркового артиста, стяжавшего мировую славу, в частности, одним из своих номеров, который называется «эквилибр (равновесие) на ненатянутой проволоке»!

Между двумя стойками провисает тонкий гибкий

металлический канатик длиной 4—5 метров. К середине его подходит внешне неуклюжий человек в клетчатой кепке с гигантским козырьком и в тесном пиджачке, ставит ногу на проволоку; проволока натягивается, принимая форму латинской буквы V с широко разведенным раствором. Мгновение — и артист на раскачивающейся проволоке. Он ходит по ней, смещаясь далеко от середины, поворачивается, садится и ложится; стоя на проволоке, снимает пиджачок, жонглирует, все это с необычайной легкостью, не пользуясь никакими специальными предметами для поддержания баланса. Он выполняет трюк, выполнить который, кажется, совершенно невозможно!

Анналы истории цирка хранят имя Эриха Вейса, венгра, проживавшего в США свыше 100 лет тому назад. Он выступал в цирке под именем Гарри Гудини, и при жизни его называли «человеком, творящим чудеса», «королем магов».

Среди его многочисленных трюков были трюки со всевозможными так называемыми освобождениями. Путем постоянных специальных тренировок он научился делать со своим телом все или почти все, что ему за-



благорассудится, складываться пополам, значительно увеличивать или уменьшать объем мышц и даже смещать кости в суставах.

Особенно ярко Гудини продемонстрировал свое искусство владения телом однажды в Канзас-Сити перед тысячами зрителей, будучи подвешенным за ноги в строгой смирительной рубашке на высоте 5 метров перед зданием почтамта. Начальник полиции перед этим заявил, что ни одному человеку в мире не удастся освободиться от нее, сколько бы он ни бился, и предложил пари на крупную сумму.

На следующий день в местных газетах появился отчет о небывалом представлении:

«Тысячи любопытных сограждан в молчании наблюдали, как блок медленно поднимал туго спеленатое тело мага. Наконец, слегка раскачиваясь, оно повисло высоко в воздухе. И почти сразу заключенный в жесткий брезентовый кокон Гудини начал извиваться, словно его охватили страшные конвульсии. Казалось, что у него просто нет костей, ибо связанные узлом рукава смирительной рубашки вскоре уже свободно болтались ниже его головы... По мере того как маг извивался и крутился, брезентовый кокон все больше сползал по телу к голове. Несколько энергичных рывков и конвульсий, и вот он уже собрался вокруг шеи, наподобие толстенного воротника. Освободившимися руками Гудини мгновенно развязал узлы шнуровки и сбросил смирительную рубашку вниз. По свидетельству очевидцев, эта процедура освобождения заняла у Гудини две с половиной минуты».

ПОЧЕМУ ВЫ НЕПОХОЖИ НА ПАПУ

Помните знаменитую сказку о мудреце — изобретателе шахмат, который на вопрос о вознаграждении, какое он хотел бы получить за свое изобретение, попросил положить на одну клетку шахматной доски одно зернышко риса, на вторую — два зернышка, на третью — четыре, на четвертую — восемь и т. д., при переходе на каждую следующую клетку каждый раз удваивая количество зернышек? Помните, какое астрономическое количество риса понадобилось бы, если попытаться до конца выполнить «скромное» пожелание

мудреца и все 64 клетки доски заполнить по навязанному им правилу?

Давайте немного переиначим эту задачу. На каждой клетке шахматной доски (а их всего 64, то есть гораздо меньше, чем подвижных сочленений в нашем теле) укрепим электрическую лампочку. Пусть ее включению условно соответствует «включение» движения в одном из подвижных сочленений тела. Тогда та или иная комбинация включенных лампочек будет представлять то или иное сложное движение тела, или, как говорят физиологи, ту или иную двигательную синергию.

Сколько разнообразных движений сможет совершать механизм, составленный «всего лишь» из 64 подвижных сочленений? Каково разнообразие движений змеевидной цепочки, состоящей «всего лишь» из 64 звеньев, если каждое из звеньев обладает независимым приводом, который может включаться и выключаться по чьему-то желанию? Сколько времени надо, чтобы перебрать всевозможные комбинации движений, все варианты включенных и выключенных лампочек на шахматной доске?

Легко подсчитать, что если, например, перебор этих комбинаций поручить ЭВМ и если она будет его производить со скоростью миллиона комбинаций в секунду, то на полный перебор ей понадобится круглым счетом миллион лет!

Подвижность нашего тела иначе чем астрономической не назовешь. За всю жизнь — на производстве, в быту и при занятиях спортом — мы используем ничтожную долю всех доступных нам движений, ту их часть, какую успели освоить в период обучений и тренировок — в первые годы жизни чрезвычайно интенсивных, а затем все более редких и скудных, нацеленных не на приобретение все новых и новых двигательных навыков, а на поддержание на приемлемом уровне уже освоенных. Поддержание их силы, плавности, скорости выполнения. Ведь движения в действительности различаются не только потому, какие подвижные сочленения в них участвуют. Два движения, в которых участвуют одни и те же суставы, можно выполнять с различными скоростями и ускорениями так, что даже на глаз будет видна их полная непохожесть.

Именно вследствие избыточной подвижности, неимоверного разнообразия двигательных возможностей, за-

ложенных в живом организме, его движения могут быть нежными и грубыми, грациозными и неуклюжими, собранными и расхлябанными. Именно поэтому рука человека — уникальное орудие труда, обладает универсальнейшими возможностями, может не только держать резец, карандаш и газовый резак, хирургический нож, паяльник и штурвал, но и работать ими, строить их движения и управлять этими движениями, регулировать их амплитуды, скорости и ускорения, дозировать усилия. Именно поэтому бури восторга вызывали и вызывают Уланова, Плисецкая и Павлова, и поэтому одному человеку за стойкой буфета удается за считанные секунды выполнить десятки сложнейших движений, еще и еще десятки, сотни, тысячи их, обслуживая вас, и тех, кто до вас, и тех, кто за вами.

Множество — очень удобное слово, которое особенно охотно применяют математики. У них оно имеет совсем не тот смысл, который ему часто приписывают в обыденной жизни, говоря, например: «множество посетителей заполнило выставочный зал», «я перебрал множество вариантов» и т. д. Число посетителей и количество вариантов можно пересчитать, пусть даже не на пальцах, а, например, по числу проданных билетов. А математики под множеством понимают такие количества, какие невозможно сосчитать. За примером такого бесчисленного множества далеко ходить не надо. Полностью разогните руку в локте, а затем согните ее. Угол сгибания руки в локте составляет примерно 135°. В локтевом суставе нет механизма, который бы делил этот угол на 10, 100 или 1000 частей, определяющих конечное число возможных положений предплечья относительно плеча. В пределах между двумя крайними положениями оно может занимать множество промежуточных — множество именно в том смысле, в каком это слово понимают математики, то есть бесчисленное множество.

Точно так же обстоит дело в любом другом шарнире живого механизма. В каждом из них, будь то плечевой сустав, коленный сустав или межпозвоночное сочленение, владельцу этого механизма доступно получить множество (бесчисленное множество!) относительных положений двух смежных костей.

В математике наряду с термином «множество» есть еще один термин — «подмножество». Выражаемая этим

термином как бы подчиненность подмножества множеству совершенно не означает, что подмножество в отличие от множества можно пересчитать. Ничего подобного! Просто этим подчеркивается, что данное подмножество входит в состав некоторого множества, как его часть. Например, множества возможных положений локтевого сустава, коленного сустава, других подвижных сочленений являются подмножествами возможных положений нашего тела — возможных его поз, как говорят физиологи. То же самое рассуждение относится к возможному множеству не только поз, но и движений тела, которое складывается из подмножеств возможных движений во всех его подвижных сочленениях.

Да, действительно! Из множества доступных поз и движений мы за всю жизнь успеваем освоить и использовать только малую часть. Но зато эта малая часть составляет наше «личное подмножество» поз и движений, оно наше и только наше, оно составляет и определяет многие черты нашей индивидуальности во всех проявлениях внешней деятельности.

В театре смотрят спектакль сотни зрителей. Приглядитесь к вашим соседям, к тому, как они сидят, как у них поставлены ноги, сложены руки и пальцы, как выпрямлена или согнута спина, как опущена или поднята голова; приглядитесь — и будете удивлены, как по-разному все они сидят.

Воинское подразделение движется парадным шагом. Все меры приняты, чтобы все шагали как один. Одинаковые одежда и оружие, натренированные движения, которые с первого взгляда кажутся совершенно одинаковыми. Но приглядитесь и увидите, что, несмотря на все меры и усилия, каждый из солдат хотя и делает то же, что и его соседи, но по-своему. Каждый человек по-своему работает, говорит и смеется. Целых четыре миллиарда разных людей живут сегодня на свете, но потенциальное богатство поз и движений настолько велико, что если их было бы не 4, а 40 или 400 миллиардов, то и тогда все они были бы разными, каждый из них работал и двигался бы по-своему.

Нет, вы непохожи на вашего папу, начиная с того, что обязательно отличаются подмножества ваших с ним поз и движений. И он и вы не получили их в наследство, а благоприобрели в результате процессов обучения, тренировки, работы, жизни. А эти процессы про-



текали по-разному у вашего папы и у вас. Подозрение вызывает не тот факт, что вы на него непохожи, а попытка убедить, что вы с ним «как две капли воды».

Да, правда, ваше сходство с папой существует, оно заложено глубже, чем во внешних проявлениях двигательной активности, но и ваша непохожесть на него, как мы увидим дальше, не ограничивается непохожестью только поз и движений.

Когда речь идет о роботах, никто из их создателей думать не думает о том, чтобы оснащать их подвижностью с такой щедростью, с какой оснащен человек. Сейчас не думают и в обозримом будущем не станут.

Но робот не будет роботом — человекоподобной, или, как говорят, антропоморфной, машиной, — не обладая высокой подвижностью, свойством избыточности. Ведь именно оно прежде всего необходимо, если хотим, чтобы машина была универсальной, годилась без переделок ее «начинки» для выполнения самых различных движений и работ. Только обладая этим свойством, робот в одиночку, может быть, когда-нибудь сумеет вас обслужить, находясь за буфетной стойкой. Конеч-

но, если кому-нибудь когда-нибудь придет в голову так прямолинейно и бездумно автоматизировать человеческий труд.

Свойство множественности доступных поз и движений является одним из главных, какие стремятся воспроизвести ученые и инженеры в роботах.

В каком объеме и какими средствами они этого достигают? Об этом разговор впереди. Мы его откладываем на потом по той простой причине, что тело, в котором мы живем, обладает, помимо высокой подвижности, по меньшей мере еще двумя важными особенностями, которыми в том или ином объеме должны обладать антропоморфные системы — роботы.

Чтобы двигаться и работать в реальном мире, человек должен уметь чувствовать и мыслить. Только при этих условиях его движения могут быть рациональными, осмысленными. И робот, если он предназначен двигаться и работать в реальном мире, тоже должен уметь «чувствовать» и «мыслить». Конечно, по-своему, по-технически, не зря эти слова взяты нами в кавычки. Но как-то очувствлен он должен быть, и как-то должен мыслить его искусственный интеллект!

РАЗНЫЕ НУЖНЫЕ ЧУВСТВА

В очень беспокойном мире мы живем, непрерывно подвергаемся многочисленным раздражениям. Открывая глаза, видим движущихся вокруг нас людей, животных, машины, видим предметы и сооружения, облака и листву деревьев, ярко освещенные солнцем и затемненные.

Окружающий мир не немой фильм. Поток звуков — речи, музыки, сигналов, шумов — обрушивается на наши органы слуха, ароматы и запахи раздражают обоняние. Нам то тепло, то холодно, то кисло, то горько, то сладко, в транспорте иногда ощущаем головокружение или тошноту, в часы «пик» испытываем в толпе давления, ощущаем голод и жажду, когда время подходит к обеденному перерыву, ощущаем тяжесть кирпича или портфеля. Кажется, что в этом океане ощущений жить, может быть, и можно, но получать удовольствие от жизни трудно, можно работать, но трудно творить, и кажется, насколько лучше было бы жить в мире абсолютного покоя!

Но вот в Чикагском университете группу добровольцев «подвергли» полному покою. Их поместили в особый резервуар с теплой водой, на руки им надели перчатки, которые не давали возможности к чему-либо прикасаться, их уши слышали только легкий постоянный гул, а глаза были покрыты особым полупрозрачным материалом, пропускающим лишь постоянный тусклый свет. Что же оказалось?

Результаты опыта свидетельствовали, что при отсутствии внешних раздражений, какой бы то ни было стимуляции испытуемые не могли сосредоточиться. Добровольцы, решившие отдохнуть от массы впечатлений, очень быстро обнаружили, что лишь в течение нескольких часов могут выдержать полную изоляцию от внешнего мира. Потребность человека во взаимодействии с беспокойным миром является такой же необходимостью, как и потребность в воздухе, воде, пище и движениях. Само свое существование человек ощущает, лишь поскольку органы чувств связывают его с окружающим миром и собственным телом.

Невозможно посадить человека в комфортабельный ящик, чтобы он ничего не делал и не подвергался никаким воздействиям и чтобы он при этом оставался в здравом уме и доброй памяти.

Даже для самых эгоистически настроенных людей ощущений собственного «я», приходящих изнутри, непрерывных размышлений на тему «как я себя сейчас чувствую» оказывается недостаточно, чтобы сделать их счастливыми.

Лишь сознание своей причастности к внешнему миру, которое дается непрерывным восприятием поступающих извне воздействий, отражением их в сознании, активным взаимодействием с окружающими людьми и окружающей средой, дает человеку ощущение полноты жизни.

А как же все-таки быть с тем океаном ощущений, воздействий и взаимодействий, в который вынужден вновь и вновь окунаться современный человек, открывая поутру глаза? Где та грань между абсолютным внешним покоем, который не устраивает никого из нас, и таким потоком информации, воздействий и взаимодействий, который подчас вызывает у нас желание поступить подобно тем анекдотическим боксерам, которые

прекратили состязание, утверждая, что они не могут поспеть за судьями и комментаторами?

Надо сказать, что в определенной мере природа предусмотрела необходимость в установлении такой грани. Как ни один человек не может полностью использовать те двигательные возможности, то потенциальное богатство движений, которыми он располагает, как он всего лишь на малую долю, примерно на $^1/_{10}$, использует свои мышечные возможности, точно так же он не использует, не может использовать полностью возможности своих органов чувств, тех входных каналов, через которые поступают потоки информационных воздействий.

Эти каналы всегда частично прикрыты, автоматически предохраняя организм от перегрузки, перевозбуждения. Открывая глаза, мы смотрим на все, нас окружающее, — смотрим на все, но видим далеко не все, а из того, что мы видим, замечаем лишь немногое. Каждый человек по-разному смотрит на открывающийся перед ним мир, реагирует лишь на малую часть той богатейшей информации, которая достигает его органов чувств и воздействует на них.

На оживленной улице города домохозяйка, держащая в руке сумку для провизии, замечает лишь продуктовые магазины, шофер такси — движущийся транспорт, пешеходов и своих будущих пассажиров, молодые люди — интересных девушек, иностранные туристы — памятники архитектуры, регулировщик уличного движения — нарушителей.

Весьма характерен в этом отношении эпизод, рассказанный одним французским психологом. В этом эпизоде речь шла о парижанке, которая чуть было не попала на улице под машину и обратилась с жалобой в полицию.

— Вы не запомнили номер машины? — задал ей естественный вопрос дежурный полицейский.

— Нет, — ответила пострадавшая, — но я могу сообщить следующие подробности: за рулем сидела некрасивая, немолодая женщина в белой шляпке с розовой вуалью, в темно-зеленом платье, в перчатках из свиной кожи.

Вероятно, если бы нашлись другие свидетели этого происшествия, то полицейский узнал бы другие подробности; не исключено, что кто-нибудь из них сообщил

бы номер машины, а на вопрос: «Кто был за рулем — мужчина или женщина!» — недоуменно пожал бы плечами. Было бы странно, если бы дело обстояло по-другому, если бы все участники этого разбирательства дали одинаковые показания. Ведь каждый из них смотрит на окружающий мир по-разному, чувственные восприятия оценивает бессознательно, руководствуясь своими привычными представлениями, своими интересами, своим жизненным опытом. Трудно представить себе хотя бы двух людей, которые бы обладали одинаковыми представлениями обо всем их окружающем, одинаковыми интересами, пусть даже эти два человека — вы и ваш папа. Нет, вы непохожи на вашего папу не только потому, что обладаете разными наборами поз и движений, и посторонний человек, глядя на вас обоих со спины, почти наверняка никогда не догадается, что видит отца и сына. Вы с ним непохожи еще и потому, что из бесконечно разнообразного океана ощущений и впечатлений, в котором вы живете с момента появления на свет и до последнего вздоха, вы и ваш папа замечаете, отбираете, впитываете совершенно разное. И так же дело обстоит с четырьмя миллиардами других людей, так же оно обстояло, если бы их было 40 или 400 миллиардов.

В вагоне электрички, в автобусе, в магазине и в ВЦ обычно одновременно и непрерывно происходит множество разговоров. Но пассажиры, покупатели и операторы воспринимают главным образом только то, что представляет интерес лично для них, улавливают смысл и содержание слов только собеседника, приятеля. Остальное для них «пустой звук», подобный стуку колес, уличному шуму или шуму кондиционера. Небольшая тренировка в сочетании с желанием и неизбежной необходимостью позволяет пассажиру в вагоне спокойно читать книгу, машинистке в машинописном бюро безошибочно печатать рукопись, утомленному москвичу спать в комнате, открытые окна которой выходят на широченную и перегруженную транспортную магистраль, которую он до сих пор продолжает называть Садовым (?) кольцом.

Человек обладает многочисленными чувствами, связывающими его с внешним миром. Это не только те пять чувств, которые вошли в литературный обиход, не только зрение, слух, осязание, обоняние и вкус. Человек

обладает чувствами равновесия, температуры, боли, голода, положения, движения, атмосферного давления и другими важными и нужными чувствами. Каждое из них обслуживается специальным прибором. Через посредство этих приборов беспокойный внешний мир непрерывно воздействует на тело, в котором мы живем, посредством их получаем извне всю информацию, которая необходима, чтобы вести нормальную человеческую жизнь.

Основу каждого из таких приборов составляют специальные чувствительные элементы, которые называют рецепторами. Именно на них воздействуют микроскопические порции энергии, в форме которых получают информацию наши органы чувств. А каждый из рецепторов в соответствии со своей «специальностью» отфильтровывает и пропускает порции энергии, характеризующие определенные изменения внешней среды. Нельзя заставить электрическую лампочку загореться, стуча по ней молотком, как нельзя забить гвоздь в доску, прикладывая к нему электрическое напряжение. Глаз человека



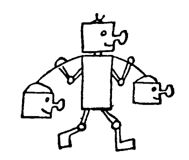
подвергается воздействию света, звука и запаха, а реагирует только на свет.

Органы чувств человека, его нервная система точно так же, как скелетная и мышечная системы, обладают большими потенциальными возможностями, которые в условиях нормальной «эксплуатации» не перегружаются и используются далеко не полностью. Именно поэтому живые механизмы, двигатели, приборы могут служить своим владельцам десятки лет без замены, служить мягко и ненавязчиво, десятки лет не напоминая о себе и не привлекая внимания.

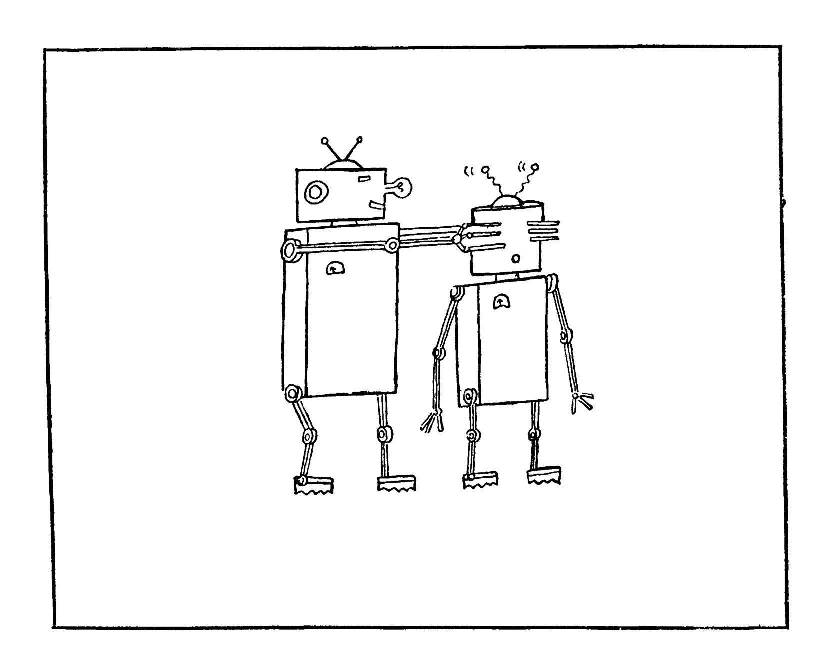
Но, конечно, при соблюдении многочисленных условий «нормальной эксплуатации», тут уж ничего не поделаешь! Эти условия содержатся в книгах о вкусной и здоровой пище и брошюрах о вреде обжорства, пьянства и курения, в правилах внутреннего распорядка в коммунальной квартире, служебных помещениях, домах отдыха, санаториях и вытрезвителях, в нормах ГТО, спортивных комплексах для лиц молодого, среднего и пожилого возраста. Одним словом, правил, инструкций, рецептов и советов касательно норм «эксплуатации» тела, в котором вы живете, уйма — дело только за вами. Как говорится: «Как аукнется, так и откликнется!»

Роботы не предназначаются для человеческой жизни, нормы их эксплуатации совершенно другие, но «чувства» необходимы и им. Конечно, сразу можно сообразить, что роботу не нужны чувства боли, голода и многие чувства, без которых человек не может обойтись. Не нужны, если, конечно, не прибегать к спекулятивно-фантастическим интерпретациям, например, чувства голода как выключения подвода электроэнергии, а чувства боли как выхода из строя реле или обрыва проводника.

Но если уж мы замахнулись создать нечто по нашему образу и подобию, то ведь совсем нелишне будет поточнее узнать, как устроены и действуют эти живые приборы, каковы механизмы их использования, когда мы живем, движемся, работаем.



МЕХАНИЗМЫ ИНТЕЛЛЕКТА



КЛЕТКИ, ОРГАНЫ, СИСТЕМА

Как атом есть мельчайшая неделимая частица любого из ста с лишним известных сейчас химических элементов, так живая клетка есть мельчайшая неделимая частица любой живой материи. Жизнь возникла миллионы лет тому назад в Мировом океане. Может быть, в силу этого клетка состоит главным образом из жидкости, заключенной в оболочку. Если нарушить эту оболочку, клетка погибнет. Внутри этой жидкости находится еще меньшая капелька жидкости, которая, в свою очередь, также заключена в оболочку. Эту самую важную часть клетки называют ядром; оно может жить только в клеточной жидкости.

Две главные функции, отличающие живое от неживого, связанные с питанием и воспроизведением, реализуются в живой клетке. Через ее оболочку — мембрану, как ее называют, фильтруется все питание, какое

получает клетка из внешней среды, через эту же мембрану из клетки выводятся ненужные ей вещества. Запас питательных веществ и их переваривание осуществляются в клеточной жидкости. А в ядре содержатся все материалы, которые используются клеткой в процессе собственного воспроизведения, или размножения.

Непрерывная работа идет в каждом микроскопическом живом «кирпичике», из которых «сложено» наше тело, причем разные «кирпичики» имеют разные назначения и соответственно разную конструкцию.

Клетки, из которых состоят мышцы, устроены так, что они могут сокращаться и расслабляться, приводя в движение различные части тела. Клетки, из которых состоят железы, производят и выделяют различные жидкости и соки, в которых нуждается организм. Имеется по меньшей мере полдюжины различных типов клеток, занимающихся производством крови. Существуют специальные клетки, из которых построены кости, кожа и т. д. Нервные клетки — разнообразные по конструкции, единственные клетки тела, которые могут передавать сигналы от различных его частей головному или спинному мозгу.

Множество собранных вместе клеток одного типа составляет живую ткань. В нашем теле можно обнаружить несколько видов таких тканей.

Покровные ткани образуют кожу, покрывающую и защищающую тело, они выстилают внутренние поверхности рта, носа, органов пищеварения.

Вас никогда не удивлял тот факт, что все наши внутренности не смещаются со своих мест и не перепутываются внутри нас в результате спортивных занятий, когда мы бегаем, резко прыгаем, оказываемся вверх ногами, складываемся пополам? Ведь они там вроде бы все по отдельности и, казалось бы, держаться при таких ненормальных условиях в нормальном положении просто не могут?

Оказывается, существуют специальные соединительные ткани, «сплетенные» из сравнительно более прочных клеток. Они образуют пленки, из которых сконструирована «подложка» для кожи; из этой ткани построены суставные сумки, в которых заключены все подвижные сочленения; пленки соединяют в единый пучок несколько мышц, из пленок сконструированы «растяжки», «расчалки», «упаковки», «обертки», благодаря ко-

торым внутри нашего тела поддерживается неизменная геометрия и не происходит «перепутаницы» разных органов. Только когда у вас дома готовят мясо к обеду, эти ткани кажутся абсолютно ненужными.

Кровь — тоже своеобразная живая ткань, имеющая свои специфические функции и свою специфическую клеточную структуру. Различают также костные и мышечные ткани, ткани, из которых построены железы, и, наконец, нервные ткани.

Поврежденная кожа залечивается в результате того, что клетки, из которых она состоит, воспроизводят новую кожную ткань, занимающую место уничтоженной при повреждениях. Костные и мышечные ткани излечиваются тоже путем образования новых клеток, даже кровь восстанавливается и обновляется в процессе жизни. Только нервная ткань резко отличается от всех других тканей тем, что она не обладает способностью к воспроизведению.

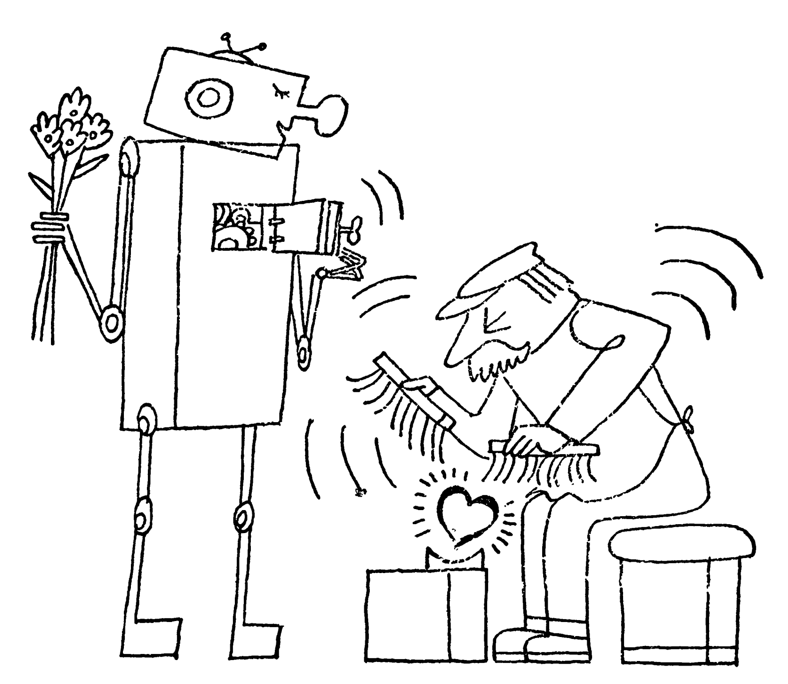
«Нервные клетки не восстанавливаются!» — набивший оскомину веселый призыв, с которым часто обращаются друг к другу хорошие знакомые, сослуживцы, продавцы и покупатели, рекомендуя не волноваться по пустякам. Человек появляется на свет с тем набором нервных клеток, которым он должен обходиться всю жизнь, так что эта шутливая рекомендация полна здравого смысла.

Группа различных тканей, работающих совместно в процессе выполнения специфических функций, образует конструкцию, называемую органом. Сердце называют органом, печень называют органом, глаз и мозг — органы и т. д.

Группа различных органов, работающих совместно, называется системой. Так, например, рот, желудок, кишки работают совместно и образуют пищеварительную систему. Все органы тела обычно разбивают на системы: скелетную, мышечную, дыхательную, циркуляционную, лимфатическую и др. К числу систем тела относят также и нервную систему, основным элементом которой служит нервная клетка — нейрон.

Сложнейшие процессы протекают в каждой клетке, в каждой из систем. Далеко не все из этих процессов познаны до конца, даже те из них, что происходят буквально на глазах у ученых и врачей.

Одно из чудес природы — сращивание поломанной



кости. Когда хирурги «состыковывают» части кости их поломанными краями, начинается таинственный процесс заживления. Место «стыка» организм окружает свернувшейся кровью и бесцветной жидкостью, называемой лимфой. Каждый край начинает производить новые клетки, строить новую костную ткань, причем эта «постройка» идет исключительно в направлении стыка. Никто не знает, каков механизм, управляющий этим процессом и обеспечивающий нужные направления роста кости в местах поломки. Никто также не знает, почему этот процесс останавливается, как только кость сращивается полностью, становясь в месте поломки более прочной по сравнению с непострадавшими участками.

Много других чудес и загадок скрыто в живом. Но не об этом сейчас речь. Ведь никто из тех, кто занимается роботами, не думает пока воспроизводить такой механизм соединения частей машин, никто пока не собирается создавать искусственную систему пищеварения или искусственную лимфатическую систему.

Как человек строит свои движения и как управляет ими? Как с помощью технической системы построить

движения по подобию того, как их строит человек, и управлять так, как ими управляет человек? Вот что интересует специалистов в области робототехники. Именно в этом состоит смысл и содержание всех прошлых, настоящих и будущих попыток создать автомат по образу и подобию человека.

Из всех систем человеческого тела с этой точки зрения интерес представляют, пожалуй, только три: скелетная и мышечная, с которыми мы уже коротко познакомились в предыдущей главе, и, конечно, нервная система, о которой наш рассказ.

КОНСТРУКЦИЯ МОЗГА

Чувствовать, знать, уметь — эти качества, поставившие человека на самую вершину животного мира, люди еще во времена Везалия совершенно не связывали с деятельностью мозга. Они считали, что мыслят и принимают решения сердцем. До сих пор о человеке говорят, что у него доброе или черствое сердце. Считалось, что храбрость тоже идет от сердца, а трусость является (почему-то!) продуктом печени.

Эти наивные представления уже давно сменились точным знанием. Сегодня хорошо известно, что все наши ощущения воспринимает мозг, все наши знания накапливаются в мозгу, и он управляет всеми нашими действиями. И все знают, что вместилищем для него является голова. Более того. Хорошо известно, какая часть мозга чем именно занимается, с какими органами связана, какими управляет. Одним словом, конструкция мозга известна достаточно подробно. Она настолько совершенна, настолько много умеет и отлично делает, что обойти молчанием важнейшие подробности ее устройства просто невозможно.

Хотите подержать свой мозг в руках? Положите одну ладонь на лоб, другую на затылок, чуть выше шеи. Теперь ваш мозг в ваших руках, защищенный от неаккуратного обращения черепом. Поместите пальцы обеих рук за уши. Где-то между вашими пальцами головной мозг смыкается со спинным.

Круглым счетом 1,2 килограмма весит мозг — ваше главное богатство, состоящее из нервных клеток, количество которых оценивают величинами порядка 10—15

миллиардов штук. Нервная клетка — нейрон — состоит из так называемого тела, отходящих от него коротких ветвистых отростков — дендритов и еще одного длинного отростка — аксона. Дендритами клетка сообщается с подобными себе другими клетками, аксоны — длинные «телеграфные линии», по которым одни из клеток получают сообщения со «всех концов» тела о том, что там происходит, как ведет себя беспокойный внешний мир, а другие посылают приказы мышцам и железам о том, что и как им нужно делать.

Поверхность головного мозга состоит из серого вещества — скопления главным образом тел нервных клеток, образующего так называемую кору; под этим серым покрывалом мозг бел — там подкорка, скопление дендритов, сложная нейронная сеть, в принципах построения, структуре и организации которой ученые разных специальностей пытаются разобраться уже не первый десяток лет. В спинном мозгу, наоборот, серое вещество расположено в центральной части, белое — по периферии.

Почему так? Вероятно, потому, что в такой «конструкции» достигается минимальная длина внешних и внутренних коммуникаций головного и спинного мозга, всей центральной нервной системы.

Передняя часть головного мозга, прикрытая лбом, занимается разработкой и формированием наших планов и намерений, познанием новых сведений, фактов, изучением наук, организацией и координацией информации, хранящейся в других отделах мозга, запоминанием новой информации, принятием всяких решений. Именно эта часть мозга у человека намного больше, чем у других животных.

Глубокая борозда четко разграничивает лобную и затылочную части головного мозга. Эта борозда проходит от уха до уха примерно через макушку головы. Двигаясь от лба к макушке, мы придем к передней стенке этой центральной борозды. С нею граничит моторный центр — та часть мозга, которая отдает приказы мышцам, включает двигатели всех подвижных сочленений. Любой сравнительно хорошо успевающий студент-медик может по картинке, изображающей топографию мозга, показать, какие его участки управляют движениями пальцев на ноге или руке, движениями ступни, голени, бедра и т. д.

А с противоположной, затылочной, стенкой центральной борозды граничит сенсорный центр — часть мозга, которая занимается расшифровкой и анализом наших ощущений.

Как каждой части тела соответствует управляющий ее движениями участок в моторном центре мозга, так этой же части тела соответствует свой участок в сенсорном центре, распознающий и идентифицирующий все приходящие из этой части ощущения. Позади сенсорного центра, на уровне ушей расположен слуховой центр, распознающий звуки. Впереди него находится центр обоняния, а в затылочной части мозга — зрительный центр.

Человеческое тело обладает внешней симметрией. Естественно, что эта симметрия нашла отражение и в конструкции мозга. Он также симметричен, но по отношению к телу эта симметрия обратна. Так, в частности, движениями левой части тела управляет правая сторона мозга — правое полушарие. У правшей более развито левое полушарие, у левшей — правое.

Вряд ли можно думать, что так получилось случайно или что Природа, подобно ребенку, путает левое и правое. И вряд ли в такой обратной симметрии есть какой-то слишком глубоко скрытый от нас смысл.

Когда разрабатываются новые машины, приборы, автоматы и когда разработчиков спрашивают, почему та или иная деталь, тот или иной узел сделаны так, а не иначе и из каких соображений при этом исходили, то очень часто слышится в ответ: «Так сделано из конструктивных соображений». Тело человека — живая конструкция, и в ней, как и в технической конструкции, те или иные вопросы, например вопросы симметрии или расположения серого и белого вещества, решены, наверное, из чисто конструктивных соображений, тем более что «конструктивные соображения» — категория чисто человеческая.

Если в удивительной конструкции мозга надо было бы выделить самую ее поразительную часть и если это было бы поручено сделать специалистам по вопросам управления, то, вероятно, не менее чем 9 из 10 указали бы на так называемый мозжечок, расположенный в затылочной части под полушариями. Небольшой по сравнению с ними мозжечок представляет собой центральный координирующий и диспетчерский пункт всей «си-

стемы управления». Он решает две главные задачи, связанные с построением движений.

Мы теперь знаем, что даже в самых простых на первый взгляд движениях, например в ходьбе, участвует большое количество мышц. Но ведь все они не просто так одновременно сокращаются и расслабляются. Если каждую мышцу уподобить оркестранту, то каждое движение — определенной «партитуре», в которой каждый из оркестрантов должен играть свою особую партию.

Мозжечок выполняет функции дирижера, его усилия превращают группу музыкантов в слаженный оркестр. Чтобы поддерживать равновесие во время ходьбы, все участвующие в построении этого движения мышцы должны делать свою работу точно и согласованно во времени и пространстве, иначе на ногах не удержаться. Роль координатора выполняет мозжечок. В этом состоит одна из главных задач, что он решает.

Уровни напряжения и расслабления мышцы могут быть различными. Очень расслабленная, вялая мышца медленно реагирует на команду включения, плохо по-



винуется приказам, она не подготовлена к работе. Мозжечок, в этом состоит его другая главная задача, управляет состоянием мышцы, как говорят, ее тонусом, поддерживая его точно на таком уровне, чтобы мышца в любой момент могла ответить полноценной реакцией, нужным действием на включающий ее сигнал.

Если всмотреться в конструкцию мозга, то складывается впечатление, что для мозжечка и место выбрано самое «дирижерское», если исходить все из тех же конструктивных соображений. Он находится прямо-таки в гуще белого вещества и головного и спинного мозга, там, где завязываются и организуются связи между разными отделами мозга, в самой гуще нейронных сетей, в самой гуще «событий».

Со всеми частями, органами и системами тела мозг связан нервами — «многожильными кабелями», сплетенными из многочисленных аксонов.

Только непосредственно из головного мозга выходят 12 парных (все та же симметрия!) нервов, которые все, за исключением одного, связывают мозг с «приборами очувствления» и с мышцами, управляющими работой и настройкой этих приборов. Коротко перечислим функции этих каналов связи, перенумеровав последние для удобства по порядку:

1 — обонятельный нерв — несет информацию о запахах;

2 — зрительный нерв — несет зрительную информацию;

3, 4, 5 — обслуживают мышцы, управляющие движением глаза;

6 — особенно занят во время еды. Он несет приказы жевать пищу и говорит о том, что вы жуете. Он же «болит», когда зуб не в порядке. У этого нерва много других функций. Он управляет увлажнением глазного яблока и слезоточением, когда вы плачете. Его ответвления проникают в полость рта, в веки, губы, другие части лица, а также в челюсти, зубы, язык, уши. Он работает, когда вы облизываете губы, когда у вас течет из носу во время насморка;

7 — нерв, управляющий мышцами лица, когда вы, например, смеетесь или сердитесь. Кстати, он сообщает о вкусовых ощущениях, получаемых передней частью языка;

8 — слуховой нерв. Кроме того, одна его часть сигна-

лизирует в мозг, находится ли тело в равновесии, и если нет, то в какую сторону оно падает;

9 — вместе с седьмым нервом обслуживает вкусовые ощущения, управляет речевыми мышцами:

10 — управляет движениями языка во время беседы или когда вы его тщательно оглядываете в зеркале;

11 — управляет мышцами спины и шеи, поворачивающими по вашему желанию голову и даже плечи туда, где происходят самые интересные события;

12 — единственный нерв, который непосредственно из мозга проходит в грудную клетку и желудок. Он регулирует сердцебиение, дыхание и пищеварение; делает он это совершенно незаметно, не отвлекая вас от более важных дел, при условии, что вы строго соблюдаете все правила «эксплуатации», все правила внутреннего распорядка вашего тела. Он же работает, когда, как говорят, сердце «бьется от счастья» или «сжимается от страха».

Мы перечислили только некоторые каналы управления и связи; другие, подобные же каналы связывают центральную нервную систему с другими системами тела, в частности со скелетной и мышечной, обеспечивая все процессы построения движений и управления ими.

Описание конструкции мозга не будет полным даже в первом приближении, если не сказать, как же все-таки мозг получает информацию из внешнего мира, в какой форме, посредством каких приборов? Как чувства говорят, что трава зеленая, что чайник, которого вы коснулись, горячий, что в комнате пахнет сиренью, что по радио передают песню «Течет река Волга»? Как живые приборы обслуживают интеллект?

Видеть, осязать, слышать, чувствовать — это еще не все, но без этого, без связи с окружающим миром, без средств получить из него в той или иной форме информацию человек не может существовать, машина — работать.

Конечно, мы не будем подряд перебирать и описывать все те органы чувств, которыми оснащен человек. Зрение, осязание, слух — вот, пожалуй, пока скромный набор искусственных систем очувствления, которыми оснащали и продолжают оснащать макеты и модели роботов и которые имеют аналоги — точнее не аналоги, а прототипы в живой природе. Мы расскажем о них ровно столько, сколько необходимо, чтобы дать пред-

ставление о принципах устройства естественных систем очувствления, об их возможностях, их, так сказать, технических характеристиках. Тогда вам не придется верить голословным уверениям и рассуждениям о реальном «соотношении сил» в состязании человека с машиной.

ВСЁ ВИДЯЩЕЕ ОКО

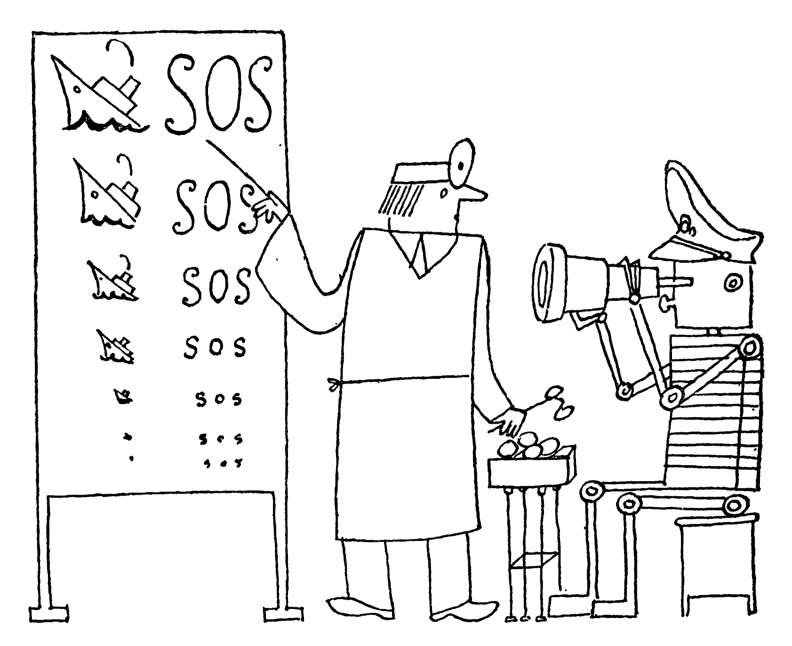
Хорошо воспитанная молодая девушка, которую ее приятель привел в малознакомую компанию, не будет изо всей силы вертеть шеей, оглядывая собравшихся за столом. Легкие, еле заметные повороты и наклоны головы, а главное, активные движения глаз, которые видят все: гостей, сидящих рядом и напротив, сервировку стола, обстановку комнаты, плечистого юношу, протягивающего руку за бутылкой коньяка, платье хозяйки и ее движения, нацеленные на то, чтобы переставить именно эту бутылку туда, где сидят самые уважаемые гости. Ее глаза видят все: пирожки, салаты и заливное, кофточки, сережки и кольца, разноцветный ковер, картинки на стене, книги на полках, дым сигарет, легкую седину, формы причесок, разные оттенки крашеных волос...

Еще ничего не сказано, от волнения ничего не услышано, но уже по двум каналам непрерывно поступает информация о том, куда и как пройти, где сесть, кому кивнуть и улыбнуться, о чем попросить спутника, чему обрадоваться, а чему позавидовать.

Эти два канала — две миниатюрные телекамеры, выполненные в форме шаров или шариков, называйте как хотите глазные яблоки, которые в поперечнике чуть больше двух сантиметров.

Несколько секунд проходят, кажется, в полной бездеятельности, но вся предварительная информация уже собрана, можно успокоиться, начать беседу, а кстати, на закусочной тарелочке уже лежит кусочек копченого палтуса и встает с места самозваный тамада.

Яркое солнце, электрическое освещение или сумерки — свет падает на страницу книжки, которую вы читаете, на праздничный стол, на чертежи или картину и отражается всегда по одним и тем же законам. Отраженные световые сигналы различной интенсивности по-



падают в глаз — так информация поступает в один из приемников, которыми оснащен человек. Сквозь роговицу — прозрачную часть прочной наружной оболочки глазного яблока, сквозь хрусталик — прозрачную двояковыпуклую линзу, сквозь прозрачное стекловидное тело, заполняющее шаровидную полость, свет попадает на «экран», выстилающий заднюю внутреннюю стенку глазного яблока, на так называемую сетчатку глаза.

Хрусталик не твердое тело, и при помощи специальной мышцы его кривизна, а следовательно, и его преломляющая сила меняются, обеспечивая резкость изображения на «экране» при различных расстояниях до рассматриваемого объекта. Другая автоматическая система регулирует размер зрачка — круглого отверстия в радужной оболочке, прикрывающей хрусталик: много света — зрачок сужается, мало — расширяется, регулируя поступления света на экран. А окраска этой оболочки — голубая, серая, каряя — один из основных предметов восхищения поэтов и влюбленных.

Сетчатка, главная часть все видящего ока — воспринимающий, или, как говорят, рецепторный, аппарат глаза, образованный несколькими слоями нервных клеток.

Здесь самым важным является слой зрительных световоспринимающих клеток, в которых происходит сложный фотохимический процесс преобразования энергии лучей света в нервные импульсы — биоэлектрические сигналы. Эти сигналы по зрительному нерву поступают в головной мозг, где формируется зрительный образ.

Сетчатка не просто равномерный «экран», все участки которого обладают одинаковыми свойствами. Маленькая площадка на этом «экране», ее зовут желтым пятном, очень густо насыщена рецепторами и обладает особо высокой чувствительностью. Люди по одним только чертам лица могут на расстоянии 10 метров узнать друг друга лишь тогда, когда каждый из них перемещает изображение лица другого в эту наиболее чувствительную область сетчатки. Все движения глазного яблока обеспечиваются мышечным аппаратом, состоящим из шести мышц и управляемым 3, 4 и 5-м парными нервами из нашего списка.

А теперь послушайте, каковы «технические характеристики» этого прибора. Приведем одни только сухие цифры, не нуждающиеся, по нашему мнению, в каком-либо «гарнире» из восхищения и восклицательных знаков.

Картинка размером 30×30 сантиметров, которая находится от вас на расстоянии 60 сантиметров, занимает на сетчатке вашего глаза площадочку в один квадратный миллиметр. Это изображение вместе с другой зрительной информацией, собираемой сетчаткой, после преобразования в совокупность электрических сигналов направляется в мозг по зрительному нерву.

Два круглых числа характеризуют, так сказать, «информационную мощность» одного глаза. Для сбора и предварительной обработки изображения он располагает ни много ни мало 100 миллионами рецепторов, а зрительный нерв (2-й по нашему списку) содержит 1 миллион нервных волокон.

На расстоянии 400 метров человек может отличить мужчину от женщины в толпе прохожих; невооруженным глазом может увидеть волосок диаметром в 0,5 микрона, то есть в 20 раз тоньше человеческого.

В течение 0,2 секунды глаз может увидеть свет слабой звезды. Порция энергии, которая при этом преобразуется на сетчатке в биоэлектрический сигнал, изме-

ряется величиной в 3—5 квантов света. Если вам эта величина ничего не говорит, то знайте, что квант — это элементарное неделимое количество энергии, как атом — неделимое количество неживого вещества, а клетка — неделимая порция живого.

Квант энергии — много это или мало?

Чтобы на чувствительной негативной фотопластинке появилась различимая засветка, необходимо от тысячи до 5 тысяч квантов. Чувствительность вашего глаза почти в тысячу раз больше.

При идеальных условиях глаз может различить 500 оттенков серого цвета и примерно столько же ступеней яркости чистых цветов. Невооруженным глазом человек может различить 26 тысяч цветов. Значит, в идеальном случае глаз может различить 13 миллионов цветов и оттенков. Практически эта величина снижается до 5 миллионов.

Любой объект мы обычно рассматриваем двумя глазами. Так как они расставлены (расстояние между зрачками равно 6—7 сантиметрам), то его видим одновременно под разными углами; при этом достигается эффект стереоскопичности восприятия, благодаря которому можем оценивать объемные свойства объекта и расстояния до него.

Вероятно, сказанного достаточно, чтобы по достоинству оценить зрение как наиболее эффективный источник информации о внешнем мире. Необходимо только еще помнить, что нас не смущает и динамичность этого мира. Наш глаз умеет видеть его в движении, а наш мозг умеет быстро различать и анализировать увиденное.

Что значит быстро? Во время теннисного матча игрок должен успеть увидеть и оценить действия противника, уследить за движением мяча и движениями противника до и после его удара по мячу. Только при этих условиях он может выкроить время, чтобы наметить план игры и нанести ответный удар, а игра может быть осмысленной, представлять интерес как для самих игроков, так и для зрителей.

Конечно, этот пример не служит прямым ответом на поставленный вопрос. Просто мы хотим подчеркнуть, что информационные и двигательные возможности живого организма развиты гармонично, информационные процессы протекают настолько быстро, насколько это

необходимо, чтобы эффективно использовать его двигательный потенциал. Без этого он не может целесообразно действовать, не может существовать и выжить.

ИЗВНЕ И ИЗНУТРИ

Вы глубоко задумались, увлеченно следите за театральным действием, погружены в шахматную партию или в курс кибернетики — легкое прикосновение к вашему плечу, спине, ноге возвращает вас к событиям, от которых вам на время удалось отключиться. Прикосновение вы ощутили кожей, которая, можно сказать, отделяет и защищает вас от внешнего мира. Это кожа обладает тем, что называют чувством осязания, причем это название, как мы сейчас увидим, далеко не исчерпывает тех ощущений, какими она нас снабжает.

Чувство боли заставляет вас быстро отклониться, если наткнулись на гвоздь; ощутив ожог, вы отдергиваете руку от ручки кипящего чайника; в мороз кожа сигналит, что нужно одеться потеплее. Сотни тысяч рецепторов сообщают о потере тепла при соприкосновении с холодными предметами и о получении тепла от горячих.

В коже имеются специальные группы рецепторов, чувствительных к движениям воздуха, обдувающего тело, к прикосновениям и вибрациям, действующим на него. Их чувствительность чрезвычайно велика. Кожа покрыта пушком волос. Проведите пальцами руки, не касаясь самой кожи, по этому пушку — и почувствуете это движение пальцев. Каждый волосок передает давление на кожу, даже если оно измеряется величиной всего лишь в 0,03 грамма. Человек без особого труда ощущает разницу между гладкой поверхностью стекла и шероховатой, на которую нанесены царапины глубиной в 0,01 миллиметра. А прикрепив к ногтю иголку, может ощутить царапину или выступ размером меньше микрона. Прикасаясь пальцем к различным поверхностям, легко различает, какие они: твердые или мягкие, гладкие или грубые, сухие или влажные, скользкие или липкие. Специалисты на ощупь определяют качество тканей, бумаги. Кожа ладоней рук, ступней ног и особенно кончики пальцев необыкновенно чувствительны к вибрациям.

Самая большая кожная чувствительность к вибрациям у человека лежит в области слышимых звуков,

где-то в диапазоне частот 100—200 колебаний в секунду. Проводились, причем довольно успешно, опыты с целью научить человека «слышать» кожей, то есть понимать слова и предложения, передаваемые только в виде колебаний на кончики пальцев, на грудь, на поверхность бедра.

Через кожу мы получаем такое большое количество таких различных ощущений, что было бы правильней говорить о десятке чувств осязания, чем об одном.

Звук — колебания воздуха. Слух, позволяющий человеку улавливать звуки, — такое же удивительное чувство, что и зрение и осязание. Ухо — прибор, преобразующий колебания воздуха в нервные сигналы. Ухо не имеет, как глаз, радужной оболочки или века — устройств, которые бы регулировали поступление энергии во внутреннюю полость, в чувствительную область уха. Вместе с тем ухо может настраиваться на самую различную интенсивность звука.

Изображения, речь и музыка, запахи, прикосновения, царапины, синяки и шишки — непрерывный поток воздействий извне, из внешнего мира, воспринимается миллионами микроскопических приборов, связывающих с ним наш организм.

У вас заболело горло, колет где-то в боку или болит под лопаткой. Человек нагнулся и не может разогнуться, разогнулся — не может согнуться: больно!

Изнутри по своим каналам идут сигналы о нарушениях, непорядках в тех или иных системах, органах, о необходимости профилактики, защитных мер, защитных ограничений.

Да! Природа хорошо позаботилась о венце своего творения. Она оснастила человека богатым ассортиментом чувств и приборов, их обслуживающих. Их разнообразие, разрешающая способность и, главное, быстродействие таковы, что, когда нужно работать, двигаться, из-за них задержки не бывает. Они все время «включены» — еще до того, как вы начали двигаться, и когда движетесь, когда думаете и когда принимаете решения.

И напоследок еще несколько чисел. Наше осязание обслуживают 0,5 миллиона рецепторных клеток, болевые ощущения — 3 миллиона рецепторов, ощущение тепла — 10 тысяч, холода — 100 тысяч, обоняние — 10 миллионов, вкус — 10 миллионов. Включая зрение,

насчитали около 300 миллионов чувствительных клеток, соединенных с мозгом тремя миллионами нервных волокон!

Извне и изнутри без перерыва (даже во сне вы иногда улыбаетесь или что-то говорите — нервная система полностью не выключается!) текут потоки сигналов в центральную нервную систему. Почему в ней не перепутываются цвета и запахи, музыка и царапины, зубная боль и впечатления от кинокомедии? Мы уже знаем почему. Каждое чувство имеет свой канал, свою «телеграфную линию», по которой оно передает информацию, и свою область в мозгу, куда эта информация поступает.

Ну а что там, в этой области? Увидев цветок, вы можете нагнуться и понюхать его. Информация, поступившая в глаз, вызвала мысль, спровоцировала движение, привела к получению новой информации. Отдельные участки мозга непрерывно взаимодействуют между собой. Почему там, где эти взаимодействия осуществляются, не происходит путаницы? Каков механизм мышления, механизм интеллекта, упорядочивающий его работу, позволяющий согласовывать, казалось бы, не поддающееся согласованию?

Этот механизм тоже изучен. Нервные сигналы, приходящие из всех органов чувств, из всех рецепторов и чувствительных нервных клеток, являются однотипными. Они представляют собой импульсы электрохимической природы, пробегающие по нерву с большой скоростью (100—150 метров в секунду, в зависимости от толщины нервного волокна). Каждый из таких импульсов имеет длительность порядка тысячной доли секунды. Если внешний раздражитель, воздействующий на нервную клетку, достаточно сильный, если этот раздражитель (свет, запах, звук, вкус...) действует непрерывно, меняясь или оставаясь неизменным, импульсы, оставаясь одними и теми же по величине, могут следовать по нервному волокну непрерывно, один за другим, с частотой до 300 импульсов в секунду. Если секундный промежуток разделить на 300 интервалов, то в пределах каждого интервала возможны два состояния: «есть сигнал», «нет сигнала». Можно сказать, что работа нервной системы основана на методе частотной модуляции, что по нервному волокну информация передается в дискретном двоичном коде.

В нервных клетках органов чувств осуществляется

перекодирование самых различных раздражений в потоки однотипных, легко сопоставляемых между собой сигналов. Именно в этом состоит принцип действия одного из важных механизмов интеллекта живого существа.

Нам кажется, что мы мыслим полными смысла образами, а бесчисленные исследования показывают, что наш интеллект оперирует только биоэлектрическими сигналами. Ему не надо складывать вкус со звуком и цвет с запахом, и если вам иногда пытаются выдать черное за белое, то не следует думать, что это просто потому, что произошла путаница в описанном нами механизме интеллекта. Хотя иногда бывает и так, но тогда путаницу называют нервным заболеванием.

Нервные клетки не только генерируют биоэлектрические сигналы. Они еще и поддаются электрическому раздражению. Свыше 30 лет назад было экспериментально доказано, что при раздражении различных участков кожи человека одними и теми же электрическими импульсами в мозгу возникают разные ощущения: тепла или холода, боли или легкого прикосновения, в зависимости от того, на какие нервные окончания оказываются воздействия, какова их интенсивность.

На вход системы подаются электрические импульсы, они системой перекодируются, посылаются в центральное устройство, там они некоторым образом обрабатываются и используются для управления исполнительными органами.

Не правда ли, прочитав эту фразу, нельзя однозначно понять, о чем здесь идет речь: о живом человеке, действиями которого управляет его естественный интеллект, или о роботе, очувствленном и управляемом искусственным интеллектом?

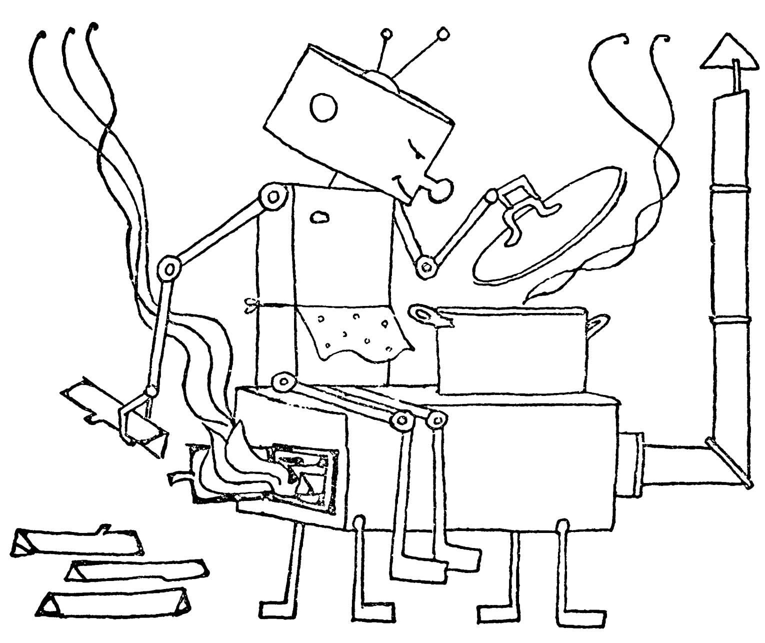
Какое увлекательное сходство механизмов получения, передачи и переработки информации двумя разными интеллектами — естественным и искусственным! Какое обширное поле для смелых сопоставлений, сравнений, предложений, изобретений, фантазий! Засеянное ими, оно давало и продолжает давать самые разнообразные, подчас удивительные плоды, вплоть до фантастических рассказов, хорошо принимаемых широким кругом читателей, и предложений создать робот по образу и подобию человека.

Только, пожалуйста, не подумайте, что ЭВМ, стан-

ки с программным управлением, искусственные руки, управляемые биотоками мышц, цифровая техника — урожай, собранный на этой ниве. Сопоставления, обобщения, установления аналогий, формирование новых идей — все эти интеллектуальные категории не что иное, как продукты практики, опыта. Создание новой техники — жизненная потребность общества, ни в коей мере не следствие изящных аналогий, а причина их возникновения.

Но, конечно, когда аналогии установлены, когда правильно определены границы, в пределах которых они действуют, когда любование ими разумно сочетается с их практической апробацией — а это особенно важно, — тогда, и только тогда, аналогии, эти привлекательные плоды просвещения, оказываются действительно полезными. Особенно когда речь идет о создании робота по образу и подобию человека. Да и мы с вами на протяжении всей этой книжки обращались и будем дальше обращаться ко всяким аналогиям.

Однако сейчас нам все-таки нужно вернуться к тому важному вопросу, который был поставлен в начале этой главы: как человек строит движения и как управ-



ляет ими? Зная, как сконструированы и действуют устройства очувствления и связи, мы можем попробовать разобраться в системе управления движениями — важном механизме интеллекта.

КОЛЬЦО УПРАВЛЕНИЯ

Итак, изнутри и извне от чувствительных клеток «вверх», в мозг, текут потоки дискретных сигналов по той части нервной системы, которую называют сенсорной. А из мозга «вниз», к мышцам, также в форме дискретных сигналов, но по другой — моторной — части нервной системы текут программы управления живыми двигателями.

Система управления движениями не всегда действует по такой двухпоточной (вверх-вниз) схеме, а действуя по ней, не всегда включает в нее головной мозг. Функции, которые выполняет этот механизм интеллекта, чрезвычайно разнообразны. Поскольку мы сейчас подошли к обсуждению очень важного вопроса, не будем торопиться и прежде всего на нескольких примерах познакомимся, как этот механизм действует в различных «управленческих ситуациях».

Войдя в темную комнату, вы хотите повернуть выключатель, а вместо этого натыкаетесь на оголенные провода и мгновенно отдергиваете руку. Вы еще не успели сообразить, в чем дело, не успели подумать, как поступить, а система управления уже сработала. А что тут думать? Будешь думать, держась за оголенные провода, все равно ничего не придумаешь лучше, чем по возможности быстрее отдернуть руку!

Самое удивительное, что живая система автоматически действует именно так, как подсказал бы головной мозг, если бы до него дошел угрожающий сигнал. Но он до него не доходит, вернее, доходит, но уже после того, как совершилось действие. В спинном мозгу сенсорный тракт, по которому сигнал двигался «вверх», «закоротился» с моторным трактом, по которому возбуждение передалось «вниз», на мышцы руки, вызвало их сокращение, рука отдернулась.

Когда вы приходите на медицинский осмотр и попадаете в кабинет невропатолога, он велит вам сесть на стул и положить ногу на ногу. Затем берет неболь-

шой молоточек и слегка ударяет им по колену. Даже если вы уже бывали в этом кабинете и знаете, что произойдет, все равно голень дернется раз и два; сколько раз ударят, столько раз дернется. Врач-невропатолог по известному уже вам способу проверяет, в порядке ли ваши рефлексы.

Если сигналы, приходящие из органов чувств, настолько просты, что нужная, например защитная, реакция организма не требует прямого участия мозга, то система управления срабатывает по варианту, обеспечивающему максимальное быстродействие: тревожный сигнал проходит по минимально необходимому пути (только до спинного мозга, а ведь он конструктивно расположен ниже головного, то есть ближе к «периферии», к мышцам, к двигательной системе), а главное, не тратится драгоценное время на обработку информации, принятие решения. Ведь в данном случае не ставится задача отдернуть руку на такое-то расстояние, с такой-то скоростью, в точно таком-то направлении и т. д. Единственно, что требуется сделать, причем самым срочным образом, это отдернуть руку — подальше и побыстрей.

Такие реактивные движения, совершающиеся без непосредственного участия головного мозга, выполняемые автоматически, называются рефлекторными.

Рефлекторные движения далеко не единственные, в процессе которых система управления действует автоматически. Дело в том, что работой многих мышц нашего тела мы вообще не можем распоряжаться по собственному произволу, они сокращаются и расслабляются автоматически, причем ими управляет специальная нервная система. Эти мышцы, образующие так называемую гладкую мускулатуру, обслуживают многие органы тела, а также кровеносные сосуды. Они периодически сужают и расширяют артерии, помогая сердцу проталкивать кровь, обеспечивают действие пищеварительного тракта, в общем, выполняют всю работу, требующую автоматических движений, управление которыми совершается по значительно более сложной схеме по сравнению с рефлекторными движениями.

Рассматривая устройство глаза, мы мельком упомянули, что происходит, когда меняется освещенность и в глаз поступает то много, то мало света. При этом меняется размер зрачка: много света — зрачок сужается,



мало света — зрачок расширяется. Глаз приспосабливается, как говорят, адаптируется, к различным условиям освещенности. Как?

В радужную оболочку глаза «встроены» две мышцы, расширяющие и сужающие зрачок, который выполняет роль диафрагмы оптической системы. Система управления этими мышцами тоже действует автоматически, и это тоже не простые рефлекторные движения. Сужение и расширение зрачка точно согласовываются с освещенностью рассматриваемого объекта. Сигналом управления в этой системе служит разность между количеством света, поступающего в глаз, и тем его количеством, при котором изображение на сетчатке получается «самым хорошим» для его перекодирования и посылки в мозг. Конечно, выражение «са́мым хорошим» не очень четко определяет характеристики управляющего сигнала. Но здесь мы не будем пытаться вникать во все тонкие вопросы работы живых механизмов. Иначе мы не скоро доберемся до того, что нас непосредственно интересует, до механизмов управления произвольными движениями.

Мы живем и работаем в динамичном мире, в кото-

ром непрерывно происходят самые разнообразные изменения. Свет сменяет тьму, тепло сменяет холод. Люди взбираются на горные вершины, летят в космос, опускаются в глубины океана, оказываются в самых различных условиях; а если они живут на одном месте, то и там часто меняются влажность воздуха, температура, атмосферное давление. Все эти изменения влияют на состояние и функционирование живого организма.

Конечно, цивилизация, обувь, одежда и зонтики, различные технические средства уменьшают эффект этих влияний, но не могут их устранить. И живой организм вынужден приспосабливаться, адаптироваться. Он буквально насыщен самыми различными адаптивными системами, реагирующими на изменения освещенности, температуры, атмосферного давления, на самые разные изменения, происходящие вне и внутри тела. Забота всех этих систем нацелена на одно — не допустить конфликта между организмом и окружающей средой, помочь организму приспособиться, адаптироваться к изменчивым внешним условиям, сохраняя на некотором постоянном уровне функционирование всех органов тела.

Любая адаптивная система, в том числе система, диафрагмирующая зрачок, работает по замкнутой схеме. Взаимодействие частей этой системы носит двусторонний характер: сокращение или расслабление мышцы изменяет величину потока света, поступающего в глаз, а изменение потока света, в свою очередь, воздействует на уровень возбуждения мышцы. Это известная в теории автоматического управления система с обратной связью, нашедшая широкое применение в самых разных технических устройствах, системах автоматизации, автоматах, роботах.

Опять аналогии, опять сходство между человеком и автоматом, теперь уже касающееся не того, как организованы потоки информации, а того, как они действуют вместе, в единой системе управления. Это сходство глубже, оно относится к более сложным механизмам интеллекта, и понятно, что к этим интересным, важным и полезным аналогиям надо относиться еще более серьезно и вдумчиво.

По подобной же схеме с обратной связью действует система управления произвольными движениями, теми движениями, программы которых мы намечаем в соот-

ветствии с нашими намерениями, желаниями, трудовыми обязанностями. Именно она нас интересует в первую очередь.

Водитель такси непрерывно следит за ситуацией, что складывается в пути, в соответствии с ней намечает наилучшую траекторию и скорость движения и управляет машиной так, чтобы ее фактические траектория и скорость минимально отклонялись от намеченных. Мозг человека — руки — машина — глаза — мозг — вот действующая в этом случае система управления, замкнутая в кольцо.

Половину этого кольца составляют мозг — руки — машина. Если вам кажется, что этой половины достаточно, чтобы успешно справиться с задачей управления, то попробуйте предложить самому опытному водителю проехать 200—300 метров по пустынному и прямому как стрела шоссе с завязанными глазами. Скорее всего он откажется. Каждый водитель знает, что даже при движении прямо всегда приходится непрерывно поворачивать руль то в одну, то в другую сторону, пусть на самую малую величину, чтобы компенсировать влияние на движение машины неровностей шоссе, неравномерности нагружения колес, колебаний машины и многих других, подчас совершенно случайных обстоятельств, которые непрерывно возникают при движении машины.

И водитель непрерывно сравнивает желаемое с действительным и непрерывно вносит соответствующие поправки, устраняя непрерывно возникающие рассогласования. Нет, без второй половины кольца управления, которую образуют машина — глаз — мозг, обойтись нельзя!

ТАЙМ-АУТ

Мы опасаемся, что некоторые читатели будут несколько разочарованы содержанием этой главы.

«Ну вот, — скажут они, — назвали ее «Механизмы интеллекта», а о самом главном, самом интересном ничего так и не сказали. Нет, конечно, кое-что есть о механизмах интеллекта. Мы это понимаем! Органы чувств — это приборы нашего интеллекта; механизмы их действия — это, конечно, механизмы интеллекта. И дискретный биоэлектрический код, в котором переда-

ются все сообщения из органов чувств в мозг, код, в котором работает центральная нервная система, в котором она формирует программы работы мышц и желез нашего тела, в котором эти программы направляются во все исполнительные органы, в котором исполнительные органы по обратным связям информируют мозг о выполнении программ, — это тоже очень важный механизм интеллекта. И системы управления: разомкнутые и замкнутые обратными связями, адаптивные и произвольные, подчиняющиеся нашим желаниям и намерениям, — это тоже механизмы интеллекта. Это понятно, но не об этом речь! Речь, извините, идет совсем о другом. Ведь в этой главе вы, авторы, до человека фактически не дошли или почти не дошли!

Если говорить об органах чувств, то ими оснащено любое животное! Причем по техническим характеристикам органы чувств животных подчас даже превосходят органы чувств людей. Например, не каждый человек обладает хорошим, музыкальным слухом, а почти каждая дворняга им обладает в совершенстве, да еще умеет превосходно ориентировать свой слуховой аппарат. Найдите-ка человека, который умел бы так шевелить ушами, как это умеет любой щенок. Острота зрения птиц намного превосходит остроту человеческого зрения. И так далее. Тут царю природы нечем похвалиться или отличиться, тут не проявляются его особые человеческие качества.

Биоэлектрический код? В нем тоже нет ничего оригинального. Что любая живая ткань электрически активна, способна генерировать биоэлектричество, известно еще со времен Луиджи Гальвани, итальянского ученого, проживавшего без малого двести лет назад. Причем это свое известное открытие он сделал на основании изучения не человека, а простой лягушки. В биоэлектрическом коде действуют все системы любого животного! Так чем здесь может похвастаться человек?

Наконец, системы управления. Ведь все системы, о которых шла речь в этой главе, можно обнаружить не только у человека, но и у любого другого животного. Рефлексы свойственны любому таракану; адаптивные и приспособительные механизмы — неотъемлемые свойства интеллекта любого животного; внутри любого животного происходят автоматические процессы и дви-

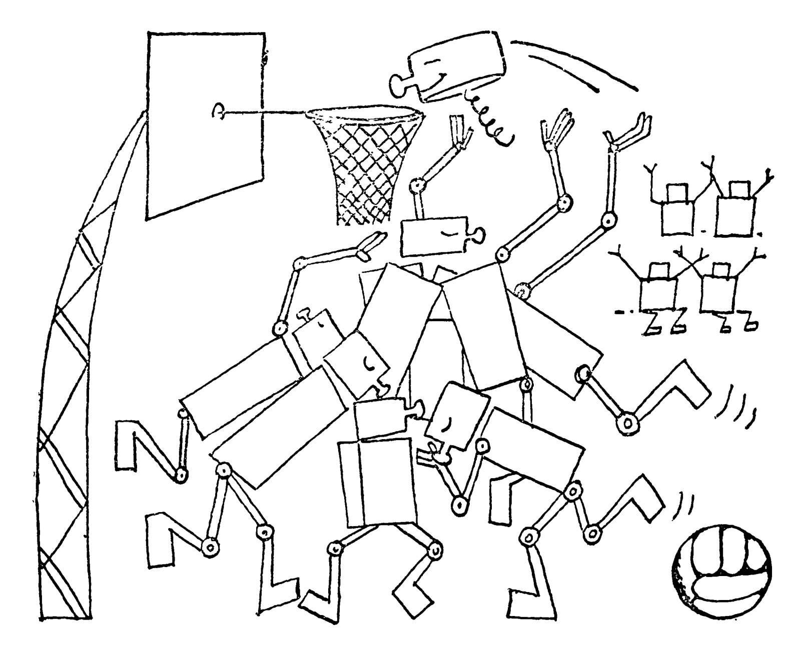
жения, любое животное многими движениями управляет в определенном смысле произвольно. Значит, и здесь вы, авторы, ничего нового не рассказали?

А ведь ваша книжка посвящена робототехнике. И вы сами все время утверждаете, что робот — это в каком-то смысле копия человека. Человека, а не рядового животного!

Вы сами сказали, что человеку свойственны три главные особенности, три главных умения, которые только и интересуют робототехнику, — умения двигаться, чувствовать и мыслить!

Вы нам рассказали о первых двух умениях, о том, как человек движется, и о том, как устроены и действуют приборы, обслуживающие его органы чувств. Это все нам было понятно и даже, может быть, интересно. Но вот вы дошли до умения человека мыслить, до главных механизмов его интеллекта, и здесь почему-то ваш рассказ оказался сильно укороченным. Ведь мы надеялись дальше узнать о самом главном и интересном. О наших человеческих чувствах и наших человеческих качествах. Не только о зрении, осязании, слухе, хотя мы понимаем, что для робототехники это важно! Мы ждали рассказа еще и о других чувствах, чисто человеческих, о чувствах добра и зла, любви и ненависти, мести и благодарности, зависти и ярости. Мы ждали рассказа о благородстве и порядочности, о находчивости и рассеянности, о рассудительности и гордости. В общем, рассказа о качествах и чувствах, подчас противоречивых, которыми всегда переполнен человек, которые, по выражению литературных критиков, составляют яркую индивидуальность человека, а по словам друзей, характеризуют наш отвратительный характер.

Мы ждали рассказа о том, как действует наш мозг, когда он мыслит. Не просто о том, куда идут сигналы, откуда они выходят, какой они частоты и амплитуды. Мы ждали рассказа о тех процессах, которые протекают за нашими высокими лбами, отличающими нас даже от обезьян, стоящих к человеку ближе всех других животных. Мы надеялись, что вы расскажете о том, как человек понимает прочитанное, сказанное и увиденное, как у него возникают мысли и идеи, как он решает задачи и изобретает, почему Г. Галилей, И. Ньютон и М. Ломоносов оказались гениальными учеными, как А. Пушкину удалось написать:



Мой дядя самых честных правил,
Когда не в шутку занемог...

Жаль, но на эти вопросы вы, авторы, не ответили, и мы, читатели, так и не понимаем, по какому образу и подобию собираетесь делать вашего робота, какими человеческими чувствами, качествами и талантами он будет обладать и какой все-таки вы устроите ему искусственный интеллект?

Может быть, вы, авторы, об этом ничего не сказали потому, что все эти механизмы, правила и законы, по которым действует наш интеллект, очень сложны и вы просто боялись, что об этом нельзя понятно рассказать, а в непонятном рассказе мы не сумеем разобраться? Не бойтесь, расскажите, пусть не все, не подробно. Пусть это очень сложно, мы внимательно прочитаем и постараемся понять...»

Вот в каком виде мы примерно рисовали себе возможную реакцию некоторых читателей, увлекающихся современной художественной фантастикой и нехудожественными фантазиями, но не очень искушенных в современной науке и технике. И мы специально взяли небольшой тайм-аут, чтобы разъяснить возможные не-

доумения и предупредить возможные разочарования.

Мы хорошо понимаем, что о человеке, его человеческих качествах и свойствах рассказали совсем немного, а в том, что рассказали, не затронули самого интересного, о чем, может быть, должны были рассказать. Но мы этого не сделали не потому, что боялись, что не сумеем что-то объяснить или тем более вы, читатели, не сумеете что-то понять. Совершенно не поэтому! Не думайте, пожалуйста, о нас плохо!

Все дело в том, что мы не знаем многих механизмов человеческого интеллекта, не знаем, как они устроены и действуют.

Мы не знаем очень многого о них, и единственно, что нас оправдывает, — это то, что никто не знает (пока) о них того, что нам кажется самым интересным.

Человек проник в космос, но еще не проник в тайны собственного мозга, и потому любая попытка разработать систему искусственного интеллекта по образу и подобию естественного интеллекта — это пока не больше чем попытка «придумать то, не знаю что, сделать так, не знаю как».

Но, конечно, очень ограниченное знание механизмов интеллекта не исключает возможность разрабатывать и строить машины, автоматы, роботы, которые умели бы работать вместе с человеком или даже вместо человека. Важно, чтобы они умели делать то, что сегодня вынужден делать человек, делать рутинную работу, пусть они это будут делать не совсем так или совсем не так, как это делал или делает человек. При такой постановке вопроса не отпадает интерес к тайнам мозга. Просто лишний раз подчеркивается очевидная мысль, что автомат и человек — это разное. Что пароход плывет не так, как рыба, самолет летит не так, как птица, швейная машина и швея по-разному орудуют иглой, робот и человек по-разному работают и думают.

Мы глубоко уверены, что чем более сложные задания человек будет выдавать роботу, тем меньше будет сходства между тем, как подобные задания выполняет человек и как их будет выполнять робот, чем глубже человек будет проникать в тайны мозга, тем яснее будут становиться различия между принципами действия естественного и искусственного интеллектов.

И еще одну тайную мысль мы имели, рассказывая об устройстве тела, в котором живем, и о механизмах

интеллекта. Хотелось, чтобы в суматохе механизации, автоматизации, роботизации не утрачивалось уважение к себе, к своим возможностям учиться, работать, достигать. Мы теперь знаем, что эти возможности колоссальны, их резервы неисчерпаемы, что дело только за нами: «Как аукнется, так и откликнется!»

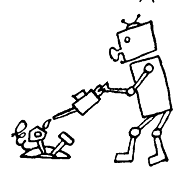
А к механизмам интеллекта мы еще вернемся. К тем, которые человек привлекает на помощь, когда работает.

Дискретный, «цифровой» код, системы очувствления, системы управления произвольными движениями — это сравнительно простые и понятные механизмы интеллекта. Принципы их устройства поддаются экспериментальному изучению, результаты действия — количественной оценке.

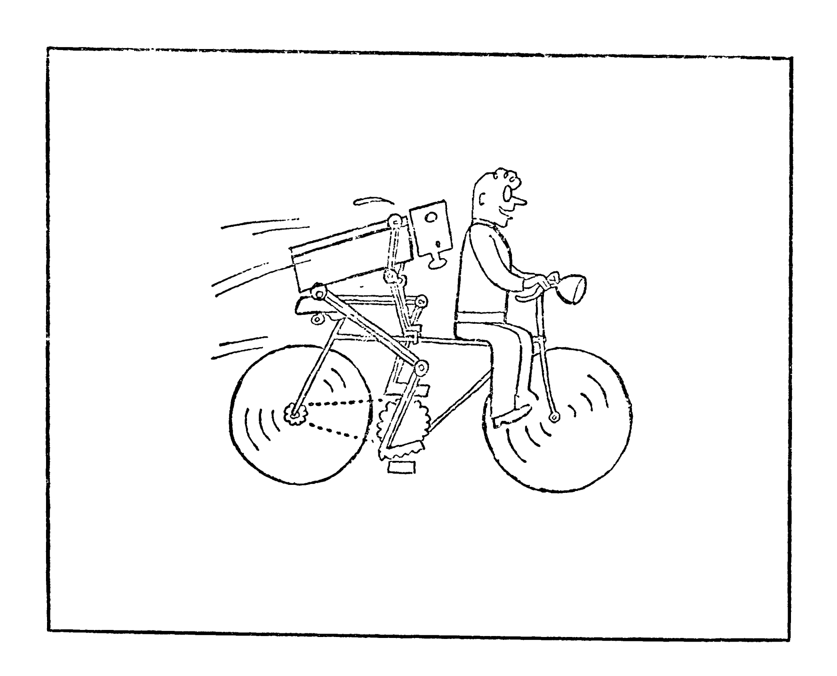
Мы не видим необходимости подробно обсуждать вопрос о тех гранях естественного интеллекта, о которых, казалось, следовало говорить, когда речь идет об очувствлении робота. И не испытываем при этом угрызений совести. Мы уверены, что чувства добра и зла, любви и ненависти и прочие не подлежат технической реализации. Изучение механизмов этих чувств со спокойной совестью доверяем инженерам человеческих душ — писателям. А сами только изредка будем их касаться.

Но есть такие функции интеллекта, такие его механизмы, которые, образно говоря, располагаются между «чисто техническими», о которых мы уже рассказали, и «чисто человеческими», в которых робототехника абсолютно не заинтересована. Это функции запоминания, планирования, распознавания образов, принятия решения. О них говорилось пока только косвенно; само собой подразумевалось, что человек, открыв поутру глаза, начинает распознавать образы, вспоминать и запоминать, планировать и принимать решения.

Очень жаль, что мы не знаем в точности, как эти функции выполняет естественный интеллект. Робототехника достигла уже сегодня такого уровня, когда их техническая реализация становится необходима. Но, может быть, для этого и не надо знать все в точности?



ПОЛУРОБОТЫ



МЕХАНИЧЕСКАЯ РУКА

Человек появился на земле не так просто, как об этом рассказывается в библии. Не одна тысяча лет прошла, пока наш далекий предок догадался встать на задние конечности, выпрямиться, взять передними конечностями палку или камень и начать ими орудовать, приспосабливая для своего обитания окружающий мир. Эта работа не прошла для него даром. В результате ее он стал человеком и обзавелся уникальными орудиями труда — руками. Мы теперь знаем, насколько сложна и совершенна их конструкция, какой гибкостью и подвижностью они обладают.

Любая попытка построить робот — это в первую очередь попытка разработать конструкцию механической руки, чтобы она, подобно человеческой, могла совершать множество разнообразных движений в окружающем пространстве.

Рука человека не предназначена специально для выполнения какого-то определенного набора операций. Она является универсальным орудием, и именно поэтому человек может так ловко действовать, манипулировать самыми различными объектами, предметами, инструментами, чем угодно.

Каким же минимумом подвижности нужно оснастить механическую руку, чтобы, с одной стороны, не очень усложнить задачу конструктора, а с другой — чтобы все-таки обеспечить этому орудию труда достаточно высокую универсальность?

Такой минимум легко установить. Свободное тело в пространстве обладает шестью степенями подвижности. Книжка, которую вы сейчас читаете, лежит на столе. В любую точку пространства можно ее переместить, сдвигая вдоль стола (одна степень подвижности), поперек стола (другая степень подвижности), поднимая в направлении, перпендикулярном плоскости стола (третья степень подвижности). Но чтобы книжку поставить, например, на полку, ее нужно не только перенести с одного места на другое, но еще и установить на этом новом месте желательным образом. При этом может оказаться необходимым поворачивать ее в собственной плоскости (четвертая степень подвижности), относительно линии корешка (пятая степень подвижности) или относительно линии верхнего или нижнего ее обреза (шестая степень подвижности).

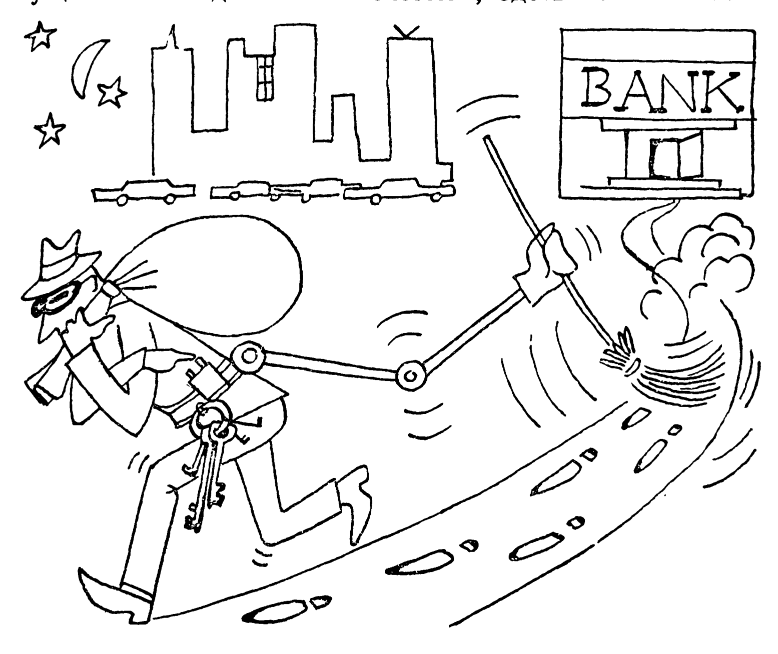
Рукой мы свободно можем взять книжку со стола и поставить на полку. Три степени свободы в плечевом суставе и три в лучезапястном составляют шесть степеней свободы, которых должно хватить, чтобы сделать необходимые для этого движения. Но попробуйте сделать это, не сгибая руку в локте, то есть не вовлекая в движение еще одну степень свободы. Вы убедитесь, что это неудобно, часто просто невозможно.

Механическую руку не обязательно делать в точности подобной естественной. Суставы живой руки, как и все суставы нашего тела, устроены так, что сочленяемые ими кости могут только поворачиваться на некоторый угол одна относительно другой. Они не могут вращаться и не могут двигаться поступательно, как может, например, двигаться гладкий валик, вставленный в гладкую трубку. В отличие от живой руки в конструкциях механических рук используют самые различ-

ные сочленения подвижных звеньев, допускающие их качательные, вращательные и поступательные движения.

Почему в живом механизме использованы только шарнирные сочленения с ограниченной подвижностью? Да, наверное, все из тех же конструктивных соображений. Представьте себе, что ваша голова относительно туловища может свободно вращаться или хотя бы совершать полный оборот. Казалось бы, страшно удобно! Верти головой сколько угодно! Но как тогда быть с мышцами, которые должны ее вертеть? Какой длины они должны быть? Как быть в этом случае с двенадцатью парными нервами? С кровеносными сосудами, которые снабжают голову питанием? На что их накручивать? Как только откажешься от принятого в живом механизме типа сочленений, так становится ясно, что всю конструкцию соединения головы с телом при этом надо целиком изменить. И с конструкцией руки дело обстоит точно так же.

В механических руках использованы совсем другие «мышцы» и нет кровеносных сосудов; ограничения, существенные для живой системы, здесь оказываются



несущественными. Но зато в механическую конструкцию очень сложно вводить избыточные степени подвижности с такой щедростью, с какой ими снабжена живая рука.

Вспомним, что к семи степеням подвижности крупных суставов руки добавляется еще 20 степеней подвижности кисти с пальцами! Присмотритесь к тому, как они помогают удобно и легко брать книгу со стола и ставить ее на полку. А кисти механических рук почти все самые простые «двупалые» захваты с одной степенью подвижности, и только в последние годы делаются попытки создать кисть с большей подвижностью. Кроме того, механические руки конструируют так, чтобы кисть при желании можно было быстро сменить. Разные конструкции кистей, образующие разные формы захватов, в какой-то мере компенсируют ограниченные возможности каждой из них.

Конечно, никакими ухищрениями не удастся воспроизвести бесконечные по богатству и сложности движения, которые может сделать живая рука. Но к механическим рукам и не предъявляются такие требования. В робототехнике их обычно даже называют не руками, или механическими руками, как в популярной литературе, а просто манипуляторами, и под манипулятором понимают техническое устройство, предназначенное для воспроизведения лишь некоторых двигательных функций верхней конечности человека.

Никто не собирается использовать механические руки, чтобы с их помощью писать стихи, передвигать шахматные фигуры или дирижировать оркестром. Речь идет исключительно о рабочих движениях, о выполнении работ, которые очень утомительны, вредны или опасны для человека и вместе с тем не требуют особо сложных движений.

В зависимости от вида и содержания работы к управлению манипуляторами приходится привлекать человека, либо управление удается поручить автомату.

Когда механической рукой или руками, а может быть, руками и ногами, управляет ЭВМ, когда с универсальным исполнительным органом или органами, способными совершать множество разнообразных движений, сочетается автомат, способный рассчитывать это множество движений и управлять ими, именно такую «комбинацию» принято называть роботом.

Когда функции управления остаются за человеком, когда человек своими движениями и действиями управляет движениями и действиями механических рук либо рук и ног, когда механическая копия повторяет, копирует естественные движения и действия оператора, ее, эту копию, можно условно назвать полуроботом. А техническое название у таких машин совсем прозаическое — их называют копирующими манипуляторами.

Вы уже знаете, что именно с создания копирующих манипуляторов началась робототехника, и вы знаете, что их появление было вызвано не желанием создать еще одну механическую игрушку, а становлением и развитием жизненно важной для всего человечества научной и технической проблемы — освоения энергии атома.

И рассказы о роботах, пожалуй, удобнее всего начать именно с таких биотехнических систем, как обычно называют системы, в которых тесно объединены и совместно работают оператор и манипулятор, человек и машина, копирующая его движения и действия.

НА ПОВОДУ У ЧЕЛОВЕКА

Марионетки — так назывались театральные куклы, получившие широкое распространение в народных кукольных театрах Чехии 100—200 лет назад. Голова и туловище марионетки соединены между собой подвижно, руки и ноги свободно раскачиваются, сгибаясь в крупных суставах, подвижно соединяющих отдельные их части. К этим подвижным сочленениям куклы (в плечах, бедрах, коленях, шее, локтях, кистях рук, ступнях) привязаны нитки, верхние концы которых прикреплены к управляющему механизму — небольшой деревянной крестовине, состоящей из вертикальной рукоятки и одной-двух подвижных поперечин, которые могут качаться и поворачиваться относительно рукоятки.

Рукоятка этого механизма играет роль базы, к ней подвешивается голова или туловище куклы. К поперечинам привязываются нити, идущие ко всем ее суставам.

Кукловод, раскачивая и поворачивая поперечины, заставляет идущую как бы на поводу у него марионетку сгибать руки и ноги — совершать сложные движения.

В театрах марионеток разыгрывались представления,

в которых участвовало одновременно несколько кукол. У отдельных марионеток число нитей превышало 20, они обладали очень большой подвижностью, управление ими требовало от кукловода высокого мастерства. Он быстро наклоняет или выпрямляет поперечины, те или иные нити то подтягиваются вверх, то опускаются вниз, и в соответствии с этой быстротекущей «программой» кукла пляшет или вытирает рукой слезы. Конечности куклы повторяют движения пальцев артиста — его дело выразить в этих движениях человеческие чувства и действия.

Почему мы здесь вспомнили о марионетках? По той простой причине, что примерно та же идея управления использована во многих конструкциях копирующих манипуляторов, которые сегодня широко применяются на практике. Оператор, работающий на таком манипуляторе, как кукловод, приводит рукой в движение управляющий механизм, звенья которого соединены со звеньями исполнительного механизма, как соединена крестовина с суставами марионетки. Как кукловод, оператор в процессе управления так строит свои движения, так их дозирует, то есть выбирает и изменяет их скорости, чтобы копирующие эти движения исполнительные механизмы наилучшим образом выполнили всю программу действий.

Идея устройства, использованная в копирующих манипуляторах, не нова. Но насколько отличаются эти машины от старинной марионетки!

Мы уже знаем, для решения каких задач они сегодня применяются. Манипулятор предназначен для того, чтобы работающий с ним в паре человек мог взять расположенный вдалеке объект манипулирования или инструмент, переместить его из одного места в другое, ориентировать его там нужным образом, провести над ним или с его помощью разнообразные действия, операции, заставить его так или иначе двигаться. Все эти действия с объектами манипулирования должен выполнять исполнительный механизм так или почти так, как если бы их выполняла рука человека, по возможности точно и быстро.

Управляющий и исполнительный механизмы копирующего манипулятора — это две механические руки примерно одинаковой конструкции. Только кисть управляющей руки — это рукоятка, которую оператор держит в руке, а кисть исполнительной руки — это захват,

которым в конечном счете оператору приходится производить все манипуляции: брать, переносить, поворачивать, заворачивать, вставлять, вынимать, собирать, одним словом, работать.

Оператор обычно работает одновременно двумя руками, воздействуя на рукоятки двух управляющих рук. Две их механические копии, оканчивающиеся захватами, повторяют предпринятые человеком движения.

Итак, все, казалось бы, очень просто! Управляющая и исполнительная руки — каждая имеет 6 степеней подвижности для выполнения необходимых движений в пространстве, и еще по одной — для взятия объекта; на управляющей рукоятке имеются гнезда для большого и указательного пальцев, управляющих открытием и закрытием захвата исполнительной руки. Соответственные звенья обеих рук связаны между собой передачами, обеспечивающими одинаковость их движений. Каждая соответственная пара звеньев движется одинаково, одинаковы их суммарные движения, одинаково движутся захват и рукоятка, и когда оператор разводит или сводит большой и указательный пальцы — открывается или закрывается захват.

Оператор и механические копии его рук разделены и действуют на расстоянии. При работе с радиоактивными веществами эти расстояния могут измеряться метрами и десятками метров. При работе в подводном мире — десятками, сотнями и тысячами метров, в космическом пространстве — сотнями тысяч и миллионами километров. Точная и быстрая передача движений на такие расстояния — вот первое из сложных и важных требований, превративших простые щипцы в полуробот, сложный машинный агрегат.

Чтобы затянуть гайку, к гаечному ключу нужно приложить усилие, значительно отличающееся от того, какое необходимо, чтобы удержать пальцами хрупкое сырое яйцо. Человек, двигаясь, работая, не только делает самые разнообразные движения, но еще направляет и дозирует усилия, связанные с этими движениями. Копирующий манипулятор должен обеспечить оператору возможность управлять не только движениями объекта манипулирования, но и величинами и направлениями усилий, которые надо к нему прикладывать во время той или иной операции, — вот еще одно важное требование к конструкции этой машины.

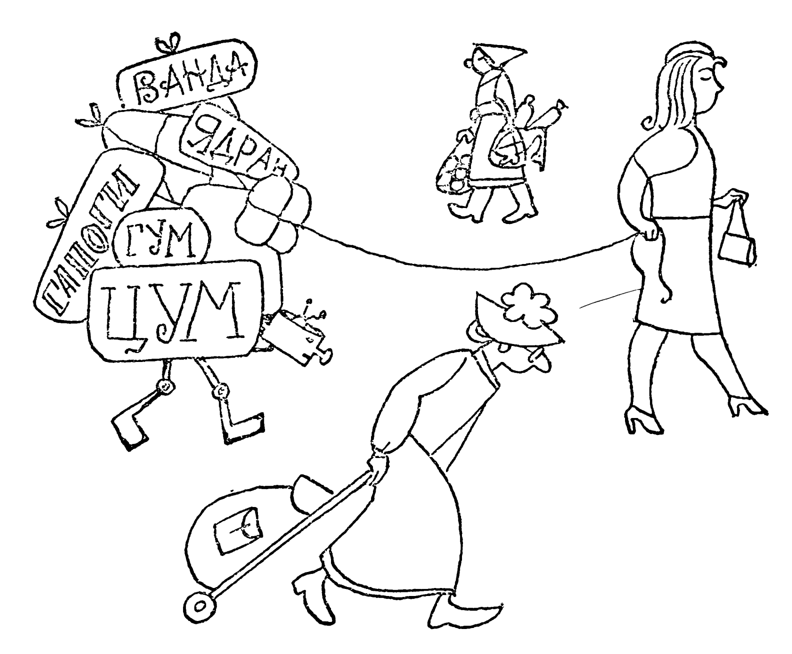
Как удержать в руках и не раздавить хрупкое яйцо, как действует механизм интеллекта, дозирующий усилия, пока никто вам объяснить не сумеет. Но одно нам уже совершенно ясно — при выполнении любых действий человек пользуется информацией, непрерывно собираемой его органами чувств. При построении движений и дозировании усилий ему обычно служат зрение или осязание, или одновременно оба эти чувства.

Оператор управляет манипулятором, наблюдая непосредственно или с помощью телевизионных устройств за движениями, воспроизводимыми исполнительными руками. Так осуществляется зрительная обратная связь по перемещению в пространстве. Механизм этого управления нам уже знаком. Оператор непрерывно сравнивает наблюдаемые им положения и скорости исполнительных рук с желаемыми и непрерывно вносит коррекцию, устраняя возникающие рассогласования.

Однако при выполнении многих работ такой визуальной обратной связи по перемещению оказывается недостаточно. Когда приходится дозировать усилия, систему управления необходимо дополнить обратной связью «по усилию». Проще всего для этого использовать естественные информационные каналы оператора. Но если человек находится в одном месте, а его «руки» в другом, то, чтобы у него возникали ощущения усилий, нужно прежде всего снабдить «чувствами» механические руки или хотя бы их захваты.

Копирующий манипулятор должен быть очувствлен по отношению к действующим на него усилиям, должен обладать свойством отражать на руки оператора усилия, действующие на захваты. Очувствление — еще одно важное требование, предъявляемое к конструкции манипулятора.

И это еще не все. Мы ничего не сказали о важном требовании, связанном с необходимостью не только ощущать усилия, но при желании иметь возможность в несколько раз увеличивать силы, развиваемые на исполнительных руках, снабдить оператора «сверхчеловеческими» возможностями. Такие конструкции давно существуют и применяются. Конечно, эти свойства достигаются не за счет подбора операторов-гигантов, а путем использования дополнительных источников мощности, которые включаются в систему «оператор — манипулятор».



Перед конструкторами громоздятся требование за требованием, возникающие из-за того, что каждым движением, действием полуроботов непрерывно управляет человек; они работают «рука об руку», образуя единую биотехническую систему.

Как покупатель в магазине подбирает туфли или костюм, чтобы они нигде не жали, не тянули, не заставляли горбиться, так и создатели полуроботов вынуждены приспосабливать и подгонять свойства и возможности машины к свойствам и возможностям человека. А ведь эти свойства и возможности совершенно не совпадают, они подчас просто противоречивы. Для чего хороша машина, для того совершенно не подходит человек; свойства человека совершенно несвойственны машине.

Попробуйте рукой провести в пространстве прямую линию или на листе бумаги карандашом нарисовать сколько-нибудь точную окружность, попробуйте вертеть сверло со скоростью в 1000—500—100—50 оборотов в минуту или поднять груз весом в 500 килограммов. Оператора, обладающего такими возможностями, невозможно ни найти, ни подготовить, а машине это проще простого.

У вас, как у каждого, кто представляет себе эти и подобные им несоответствия, наверное, возникает вопрос: «Зачем «спаривать» так тесно человека и машину? Зачем пытаться соединять противоречивое? Ведь каждому ясно, насколько сильно при этом человек ограничивает машину. Копирующий манипулятор, управляемый человеком, никогда не сумеет провести в пространстве точную окружность, а его механическая рука никогда не сумеет ударить по гвоздю 3 раза в секунду».

Казалось бы, уж если человек умудрился построить такую квалифицированную и сложную машину, как манипулятор, которая может делать множество разнообразных движений, может выполнять их точно и развивать при этом гигантские усилия, может многое, чего не может человек, так пусть ею управляет не человек, а автомат. Переделайте полуробот в робота, и все тут!

Переделать можно. Только после такой переделки она не сумеет делать то, что умела, когда ею управлял человек. Работая в паре с машиной, человек придает этой биотехнической системе наряду со своими человеческими недостатками еще и свои человеческие достоинства. Без них очень часто не обойтись. Чтобы не прослыть опрометчивыми консерваторами, скажем — пока не обойтись (будучи уверенными, что круг работ, которые человек сумеет поручать роботу, конечно, должен непрерывно расширяться).

В ИЗОЛИРОВАННОЙ КАМЕРЕ

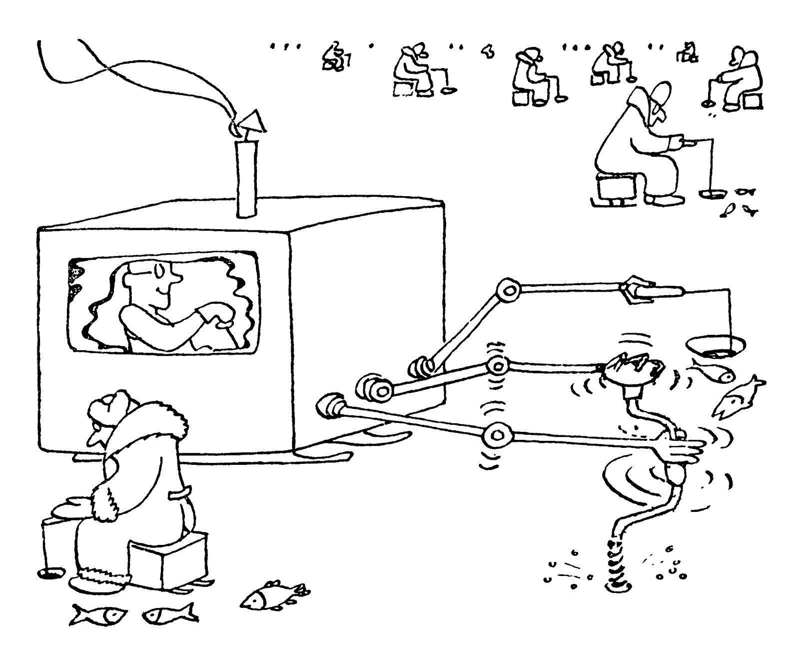
Супруги Кюри, проложившие человечеству путь к использованию энергии атома, а затем и их последователи, не представляли себе, как будет выглядеть атомная энергетика не только 40-х годов, но и конца XIX века, что она, можно сказать, молниеносно начнет превращаться в новую большую отрасль промышленности во многих странах. И отрасль своеобразную, поскольку и сырье, и заготовки, и изделия, а подчас и оборудование, и машины, образно говоря, находятся под запретом, предупреждающим: «Руками не трогать!»

Сердце атомного ракетного двигателя — реактор — источник смертельно опасных излучений. Испытания двигателя ведутся в пустынной глухой местности; но затем наступает неизбежный этап исследований, когда

нужно разобрать двигатель и сам реактор, чтобы воочию увидеть, к чему привели испытания, как выглядят его узлы и детали в результате воздействия на них колоссальных нагрузок.

Даже после сравнительно кратковременной работы реактор долго сохраняет радиоактивность; разборку двигателя, обследование узлов и деталей, их замену в случае необходимости — все эти работы необходимо вести в изолированных помещениях. При их выполнении приходится иметь дело с частями метровых размеров, весящими не одну сотню килограммов. Например, разработанный по американской программе ракетный реактор весит более 5 тонн.

На окраине одного из городов штата Невада расположены здания Национальной станции США, занимающейся вопросами усовершенствования ракет. Часть здания станции представляет собой надежно защищенное от радиоактивных излучений изолированное пространство. Вы помните, что в исследованиях супругов Кюри рабочая камера представляла собой просто-напросто ящик, покрытый свинцом. Теперь это изолированное помещение — целый эллинг высотой с четырехэтажный



дом. А вместо «щипцов» там смонтирована механическая рука, размеры и грузоподъемность которой позволяют оперировать тяжелыми и громоздкими объектами — узлами и деталями ракетных двигателей и реакторов.

Рука состоит из трех звеньев. У нее есть плечо, предплечье, кисть. Она не полностью антропоморфна и не только размерами, но и структурой, и видом кинематических пар отличается от естественной руки. Вместе с тем она обладает шестью, а с учетом раскрытия и закрытия схвата — семью степенями подвижности, что, как мы знаем, достаточно, чтобы работать в пространстве.

Оператор сидит за бетонной стеной и через непроницаемое для вредных излучений стекло ведет наблюдение за тем, как отрабатываются все его команды. Но такой гигантской рукой нельзя управлять по схеме обычного копирующего манипулятора, и оператор с манипулятором связаны не так, как в системах прямого копирования. Оператор ведет управление, нажимая кнопки и поворачивая рукоятки, подобно тому как машинист управляет экскаватором. Такую систему ручного управления иногда называют кнопочной.

В копирующих системах оператор, воздействуя на рукоятку управляющей руки, задает и дозирует движения одновременно по нескольким или всем степеням свободы. Он строит движения самым естественным для человека способом, как правило, даже не задумываясь над тем, из каких элементарных перемещений и поворотов оно составляется. А здесь картина построения движений совсем другая.

Кнопочная система вынуждает оператора разлагать выполняемые движения на отдельные элементы с помощью тех кнопок и рукояток, которые этим элементам соответствуют. Конечно, навыки позволяют ему сравнительно быстро освоиться с таким управлением, но, как показал опыт, быстрота и точность движений при кнопочной системе все-таки значительно ниже, чем при системе прямого копирования.

Когда вы поворачиваете рукой рукоятку мясорубки, ваша кисть вместе с рукояткой описывает точную окружность; рукоятка, подчиняясь усилию руки, вместе с тем направляет ее движение. Работает то, что великий русский физиолог И. Павлов назвал «темным мышечным чувством»; именно оно позволяет, даже отвер-

нувшись от мясорубки, успешно выполнить движение. Рукоятку мясорубки можно повернуть механической рукой копирующего манипулятора. Его свойство отражать усилия на руку оператора и «темные мышечные чувства» помогут последнему построить необходимое для этого движение исполнительной руки.

Кнопочная система не обладает свойством отражения усилий. Пытаясь повернуть рукоятку мясорубки механической рукой манипулятора с кнопочным управлением, можно сломать мясорубку либо манипулятор.

Нам в дальнейшем еще пригодится все, что мы узнали о свойствах манипуляторов с кнопочным управлением, а сейчас вернемся в эллинг, куда поступил после испытаний атомный двигатель.

Представим себе процесс разборки реактора с помощью манипуляторов. Узел за узлом, деталь за деталью отделяют они от реактора и осторожно укладывают их в специальные стеллажи. Некоторые узлы и детали передаются для дальнейшей разборки и контроля в зоны действия других механических рук, меньших по размерам, но зато работающих по принципу прямого копирования и очувствленных по усилиям захвата.

Все процессы разборки происходят не так, как если бы люди выполняли их непосредственно. Уже теперь многое в конструкции реактора рассчитано на процессы дистанционной разборки, ремонта, сборки. Но все же это пока только зачатки дистанционных технологий. В ближайшем будущем науке и технике не избежать необходимости заняться ими вплотную. И конструировать машины будут в расчете на такие специальные технологии.

Разборка идет успешно, но вот одно неосторожное движение — и последняя, самая важная деталь выскользнула из захвата механической руки и упала на пол. Конечно, когда реактор снова будут собирать, эту деталь можно заменить новой — комплекты запасных частей хранятся в пределах досягаемости механических рук. Но сейчас для целей контроля, выяснения того, как работала в процессе испытаний вся система, необходима именно эта деталь, ее необходимо поднять и доставить по назначению.

Кто это сделает? Копирующие манипуляторы для этого использовать нельзя; деталь находится вне их рабочей зоны и для них недосягаема. Большая рука тоже

не может помочь; деталь откатилась туда, куда захват именно вследствие больших размеров этой руки вообще не может добраться или, добравшись, не может ее схватить, либо вообще эту деталь нужно сначала найти, поскольку ее не видят операторы. (Мы о них чуть не забыли, ведь в эллинге никого нет и складывается впечатление, что руки движутся и разумно работают сами по себе — автоматически!)

Возможность и такой критической ситуации предусмотрена. На «сцену» выкатывается новое «действующее лицо» — тележка на легком гусеничном ходу длиной около метра. В ее центре вертикальная колонна высотой 170 сантиметров (средний рост человека), несущая механическую руку и оснащенная «органами зрения» — двумя телекамерами и осветительными приборами. Сзади тянется кабель, по которому «маленький бродяга» (так назвали этот полуробот его конструкторы) получает мощность и управляющие сигналы со станции оператора. По этому же кабелю полуробот посылает оператору зрительную информацию, необходимую для управления.

«Маленький бродяга» может обойти все помещение, поднять руку, а с ней и «глаза», высоко вверх или опустить вниз и осмотреть пол, может увидеть деталь, взять ее рукой и отнести на место. Ему не хватает собственного «интеллекта», его действиями управляет оператор, но что касается двигательных возможностей, то в пределах эллинга — его зоны обитания — в большинстве случаев они оказываются достаточными, чтобы выполнить необходимые работы.

СЕМЕЙСТВО РАСТЕТ

«Маленький бродяга» не единственный представитель мобильных полуроботов, способных обслужить большие помещения за счет того, что умеют передвигаться, или, как говорят, оснащены опорно-двигательным аппаратом.

Широкую известность приобрел представитель машин этого класса, итальянский мобильный манипулятор «Маскот». Он также установлен на специальной тележке, которая может передвигаться вперед-назад и поворачиваться вправо-влево. В отличие от «маленького



бродяги», который одноручк и имеет два глаза, «Маскот» двурук, но одноглаз.

Его движениями и действиями также управляет оператор. На посту управления имеются две управляющие руки, телевизионный приемник, педальное устройство под ногами оператора. Он управляет движениями тележки, нажимая ногами на педали. Оператор движет ногами — полуробот «ходит» по помещению, механические руки копируют движения рук оператора, «телеглаза» обеспечивают эффект присутствия человека в рабочей зоне, и если обе части биотехнической системы хорошо подогнаны одна к другой, то оператор ощущает движения и действия полуробота как свои собственные.

Однажды, свыше 10 лет тому назад, подобный полуробот стал «героем» сенсационного события. В Чикагском (США) городском госпитале из контейнера случайно выпала капсула с радиоактивным кобальтом, размером с тюбик губной помады, и затерялась. Она несла смертельную опасность. Угрожающее положение было ликвидировано, когда вызванные из атомного центра

полуробот и обслуживающие его операторы нашли «тюбик» и «заперли» его в контейнер.

Мы рассказали о технологии работ в гигантском эллинге. Но как атомный двигатель доставили туда? Как его до этого обслуживали на испытаниях? Ведь он представлял угрозу в любой момент и в любом месте, и на всех этапах работы с ним нужны специальное дистанционное управляемое оборудование и машины или оборудование и машины, непосредственно управляемые человеком, надежно защищающие его от проникающих излучений.

Такие машины тоже уже давно существуют. Так, например, больше 15 лет назад был построен мобильный манипуляторный агрегат «Жук» (США). Это гигантская машина на танковом шасси, несущем трехместную кабину, облицованную защитными свинцовыми плитами толщиной 30 сантиметров и весящую из-за этого 85 тонн.

Внутри кабины расположены перископ, три телевизора и системы управления движениями шасси и двух манипуляторов с кнопочным управлением, обладающих каждый девятью степенями подвижности. Длина руки в вытянутом положении достигает 5 метров.

«Жук» предназначен именно для тех работ, какие только что упоминались: для обслуживания атомных двигателей на аэродромах, в аварийных ситуациях, для демонтажа установок. Но он был построен в единственном экземпляре. Его стоимость и сложность обеспечения безопасности команды оказались слишком высокими и не окупались ожидаемыми выгодами, вытекающими из присутствия операторов в непосредственной близости к месту событий.

Преимущество здесь пока за телесистемами, с помощью которых задачи управления, остающиеся уделом человека, можно решать в условиях его полной безопасности. И семейство таких полуроботов продолжает расширяться. Достаточно в качестве примера указать на целую серию машин с дистанционным управлением под общим названием «МОБОТ» (мобильный робот), которая на протяжении многих лет строится и совершенствуется с конечной целью создать универсальную дистанционно управляемую систему.

Мы не будем подробно перечислять всех представителей этой быстро увеличивающейся семьи, тем более

что сейчас уже наступил тот период, когда процесс ее «размножения» приобрел характер цепной реакции.

Нескольких примеров, с которыми вы познакомились, достаточно, чтобы увидеть, что полуроботы по своей структуре и устройству составляют особый тип машин без ярко выраженной специализации, пригодных для самых различных работ, для выполнения движений, по объему, сложности и универсальности в какой-то мере приближающихся к человеческим. И с конструктивной точки зрения, несмотря на их разнообразие, они имеют специфические черты, сближающие их между собой и отличающие от любых других машин. Механические руки, органы «зрения», наличие опорно-двигательного аппарата — все эти элементы неизбежно присутствуют в любой модели. А делится все семейство полуроботов на два клана — на так называемые обитаемые системы и системы дистанционно управляемые.

Среди приведенных нами примеров имеются представители обоих кланов. «Жук» — машина обитаемая, оператор непосредственно управляет «механическими руками» и непосредственно может наблюдать за тем, что происходит в рабочей зоне. «МОБОТ» — дистанционно управляемая система, или, как иногда говорят, телесистема. Оператор управляет механическими руками не непосредственно; он может находиться далеко, даже очень далеко от них. Конечно, наблюдать за местом событий ему сложнее, но зато он в полной безопасности. Рядом с ним может находиться много людей, много специалистов, не занятых функциями управления и могущих выполнять ряд других важных обязанностей.

Эффект непосредственного присутствия обходится дорого, причем тем дороже, чем большему числу людей понадобится им воспользоваться. Казалось бы, все говорит в пользу телеуправляемых систем. Но нет! Во многих случаях без обитаемых систем обойтись просто невозможно, сейчас вы сами в этом убедитесь.

В ПОДВОДНОМ ЦАРСТВЕ

Человек живет на суше — участке пространства, окруженном двумя океанами — воздушным и водным. Чтобы проникнуть в них, он прибегает к одному и тому

же способу — созданию искусственного «микропространства». Первым из людей, побывавшим в недрах водного океана, был швейцарский физик О. Пикар; в 1953 году у побережья Италии в батискафе — глубоководном автономном (самоходном) аппарате для океанографических и других исследований — своей конструкции он опустился на глубину свыше трех километров, отпраздновав таким необычным способом свое семидесятилетие.

Любопытно, что тот же О. Пикар первым в мире вырвался из земной атмосферы; в 1931 году в гондоле стратостата он поднялся на высоту свыше 16 километров. Этот его рекорд продержался недолго. В 1933 году он был побит советскими стратонавтами Г. Прокофьевым, К. Годуновым и Э. Бирнбаумом, поднявшимися на стратостате «СССР-1» на высоту около 20 километров.

После первых погружений О. Пикар вместе с сыном Жаком приступили к постройке глубоководного обитаемого аппарата «Триест». Главной целью при этом ставилось добиться максимальной глубины погружения. 23 января 1960 года «Триест» с Ж. Пикаром и Доном Волшем на борту установил абсолютный рекорд глубины погружения, достигнув дна Марианской впадины — глубокого желоба в Тихом океане — с отметкой 10 912 метров.

Однако если глубоководные корабли не оснастить средствами активного взаимодействия со средой, то человек в глубинах океана останется в роли пассивного наблюдателя.

Это было ясно самим Пикарам. Поэтому после первого же погружения «Триеста» началась работа по оснащению его манипулятором — к тому времени в атомной промышленности уже был накоплен большой опыт в области создания таких систем.

В 1961 году, за год до смерти О. Пикара, «Триест» стал первым глубоководным аппаратом, оснащенным механической рукой. Когда в 1963 году в Атлантическом океане погибла американская подводная лодка «Трэшер», вместе с другими спасательными средствами в район ее гибели был доставлен и «Триест», и именно он нашел, взял своей рукой и поднял на поверхность кусок трубы с «Трэшера», значительно сузив, таким образом, район поисков.

С тех пор прошло меньше 15 лет, но уже сегодня в

океанских глубинах работают десятки обитаемых глубоководных аппаратов, и, наверное, не один десяток новых разрабатывается в лабораториях и конструкторских бюро. Эти корабли вооружают механическими руками — одной, двумя, четырьмя — в зависимости от назначения: они делают то, о чем и не мечтал капитан «Наутилуса».

Может быть, пока еще рано считать, что в этой области уже началась «цепная реакция», подобная той, что идет в атомной промышленности. Но это только пока!

Народонаселение нашей планеты быстро растет. Человечеству нужно жизненное пространство. Не только такое, где люди могут непосредственно жить! Ему нужны пространства, которые бы могли его снабдить всем необходимым, откуда он мог бы черпать естественные богатства, где он мог бы выращивать продукты питания. Подводное царство, безусловно, может служить, а в некоторых случаях уже служит таким пространством. Например, в Японии две трети всей потребности в белковой пище удовлетворяется урожаем, собираемым с океанских «полей».

Одна из важнейших областей применения глубоко-



водных обитаемых аппаратов — океанографические исследования: изучение различных свойств океана, сбор образцов и коллекций на его дне и в придонных слоях воды.

Если вспомнить, что Мировой океан покрывает $^2/_3$ земного шара и вмещает 1,5 миллиарда кубических метров воды, то становится ясным гигантский объем исследований, к которым люди пока еще только начинают приступать.

Сети, драги, тралы и другая подобная техника, работающая «на привязи», чрезвычайно полезна; но, пользуясь ею, исследователь все-таки не имеет возможности получить полное представление о рабочей зоне, в которой идут измерения, производится сбор образцов.

Находясь в обитаемом аппарате, человек видит топографию дна, может осмотреть большую поверхность, различить естественные цвета и формы, выбрать объект исследования, оценить его значимость, запомнить положение.

Между сухопутным «Жуком» и глубоководным «Триестом» много общего: они оба дают возможность человеку существовать и работать в условиях и средах, требующих специальной защиты, могут автономно передвигаться, оснащены механическими руками. Другими словами, «Триест» и его «потомки», а их сейчас уже много, — это те же полуроботы, только работающие не на суше, а в воде. Их конструкции разнообразны и определяются их назначением.

Практика многократно свидетельствует, что без обитаемых систем в океанских глубинах обойтись невозможно. Вот еще пример.

В 1976 году вслед за катастрофой «Трэшера» американские летчики «потеряли» у берегов Испании ни много ни мало водородную бомбу! Глубина в этом районе достигает почти километра. Бомбу нашли и извлекли на поверхность с помощью двух различных аппаратов.

На первом этапе, при обнаружении бомбы, был необходим эффект присутствия человека, то есть нужен был обитаемый аппарат. Честь найти водородную бомбу выпала на долю океанографического аппарата «Элвин». Систематический осмотр дна в предполагаемом районе нахождения бомбы в конце концов привел

к успеху. Но работа эта оказалась весьма сложной. Экипаж «Элвина», обнаружив бомбу, поднялся, чтобы сообщить об этом, а погрузившись вторично, не нашел ее и вынужден был вновь начать поиск в лабиринте камней, неровностей и наносов.

Наконец положение бомбы было зафиксировано. Но своей одной рукой «Элвин» не мог ни взять ее, ни присоединить к ней трос для подъема. И даже если бы размеры захвата позволили ему ухватить бомбу, он все равно не смог бы ее поднять из-за недостаточной грузоподъемности.

Этап поиска благополучно завершился, а чтобы поднять бомбу, пришлось использовать уже не обитаемый, а телеуправляемый полуробот.

За несколько лет до происшествия с бомбой был построен аппарат для подъема с морского дна учебных и экспериментальных торпед и ракет. Он работает «на привязи», оснащен механической рукой — захватом, телекамерой, осветительной аппаратурой. Этот полуробот водоплавающий. Такие свойства придает ему набор баллонов, укрепленных на аппарате и подобранных по весу так, что аппарат в воде находится в положении безразличного равновесия. Автономное его перемещение обеспечивается тремя винтами, получающими вращение от специальных электродвигателей.

Длинный кабель, позволяющий ему опускаться на большие глубины, выполняет множество функций энергетического и информационного характера. По нему передается энергия, необходимая двигателям, телевизионное изображение на пост управления, управляющие сигналы с пульта управления.

Способ работы этого аппарата сводится к следующему. При каждом погружении он нацеливается на взятие совершенно определенного объекта. Его задача состоит только в том, чтобы, найдя объект, выдвинуть необходимым образом захват и замкнуть его на объекте: непосредственно процедурой вытаскивания он не занимается. Захват, замкнувшийся на объекте, остается на нем в виде ошейника и отсоединяется от аппарата. Ошейник соединен с подъемным тросом, уходящим на надводный корабль-матку, обслуживающий аппарат и вытаскивающий схваченный объект.

Ко времени «эпопеи» с водородной бомбой этот аппарат уже успел выудить из морских глубин 37 ра-

кет и торпед. Подъем водородной бомбы увенчал его успехи и послужил толчком к постройке ряда специализированных аппаратов подобного назначения.

Покорение глубин океана связано с необходимостью решать сложные инженерные задачи самого различного характера. Для этого необходим обширный парк самых различных машин, полуроботы обоих кланов — обитаемые и телеуправляемые.

Мы все время подчеркивали то общее, что можно уловить в полуроботах океанских и сухопутных. Но, конечно, имеются и специфические проблемы для тех и других, навязываемые средой их обитания.

Для океанских, например, одна из важнейших проблем связана с техникой погружения. Как быстро и безопасно добраться до нужной глубины? Как добиться, чтобы в процессе погружения и работы на глубинах корабль не терял равновесия? Как согласовать прочность и плавучесть корабля? Как обеспечить удобное положение аппарата по отношению к рабочему объекту?

Сделать это можно по-разному. Уцепиться за объект манипулирования; либо выполнить задание, паря в воде над объектом; либо, наконец, стать непосредственно на дно (есть и такие аппараты). В каком случае какой из этих трех возможных способов предпочтителен?

От успешного решения этих проблем зависит эффективность применения глубоководных полуроботов, их способность быстро и точно двигаться, занимать удобные положения, работать механическими руками.

Про океанское дно люди сегодня знают, вероятно, немногим больше, чем двести лет назад они знали про сушу, про географию материков, про их флору и фауну, про содержимое их недр. Сейчас наступил момент, когда наука и техника уже проникают в океан. Широкое освоение его богатств сопряжено с большими трудностями. Но трудность трудности рознь! Есть трудности, с которыми может справиться только фантаст, точнее, фантазер. А есть трудности, что преодолеваются в ходе научно-технического прогресса. Трудности освоения океана — трудности именно такого рода. Цепная реакция здесь неизбежна. Роботы будут работать в подводном царстве.

ПОЛУРОБОТЫ В КОСМОСЕ

17 ноября 1970 года реактивный «ковер-самолет» доставил на Луну автоматическую станцию «Луна-17». «Луноход-1», установленный на посадочной ступени этой станции, по команде с Земли съехал на поверхность Луны и приступил к выполнению программы исследований.

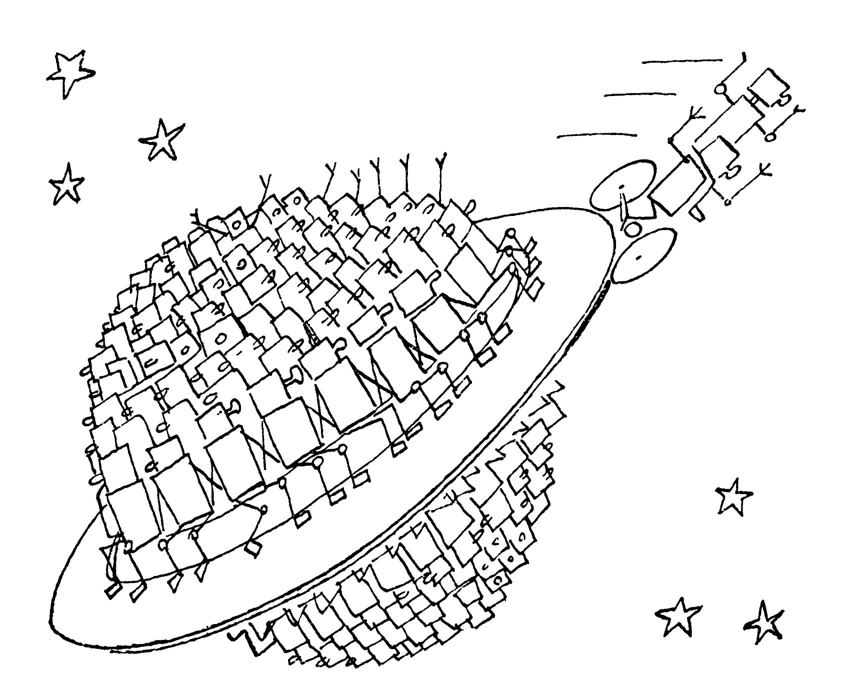
Его экипаж жил и работал на Земле в привычных условиях и вместе с тем неделя за неделей, месяц за месяцем «объезжал» намеченные участки лунной поверхности, останавливаясь в случае необходимости на долгое время. Эти остановки не оборачивались для экипажа изнурительным бездельем и не требовали особых мер для его жизнеобеспечения. Как в этом случае не признать, что у телеуправляемых аппаратов уже сейчас есть ряд существенных преимуществ по сравнению с обитаемыми? А в будущем?

Некоторым ориентиром при попытке ответить на этот вопрос может служить то соображение, что технические средства все время совершенствуются, расширяются их возможности и т. д. В силу этого эффект их использования, вероятно, будет приближаться к тому эффекту, который достигается при непосредственном присутствии оператора на месте событий.

Создание орбитальных и лунных станций из области научной фантастики перешло в область сложных, но вполне реальных научных и инженерных задач. И уже сравнительно давно стало ясно, что для их решения должны будут использоваться манипуляторы и роботы самых различных типов и назначений.

Искусственные небесные тела — спутники и орбитальные станции — это технические объекты, системы механизмов и устройств, нуждающиеся, как любые другие машины и механизмы, в управлении, контроле, ремонте, обслуживании. Три способа удовлетворить эти нужды уже использованы в космической технике.

Один из них состоит в том, что все действия приборов и систем, порядок их работы, время включения и выключения заранее запрограммированы и выполняются автоматически. С момента запуска в космос спутник начинает жить своей собственной жизнью — он отделен от человека, не требует никаких забот, кроме тех, что



связаны, например, с получением от него полезной информации.

Второй способ основан на применении специализированных систем управления, по схемам действия подобных кнопочным системам. Нажатие кнопок на пульте управления наземной станции влечет за собой заранее оговоренный конструкцией системы результат: переориентацию спутника в пространстве, переключение электронных блоков и т. д. Это типичная телеуправляемая система.

Наконец, третий способ состоит в том, чтобы сделать спутник обитаемым, поместив в него космонавта. Мы уже знаем, что чем шире и активнее в работе системы участвует человек, тем более четкой и функционально богатой она становится.

Три типа спутников постоянно или время от времени циркулируют в околоземном пространстве — автоматические, телеуправляемые и обитаемые. И такого же типа орбитальные спутники составят еще один важный этап на пути овладения космосом.

Но когда речь идет о поддержании или восстанов-

лении работоспособности спутников и орбитальных станций, когда обсуждаются устройства и принципы действия аппаратов, которым эти работы предстоит выполнять, автоматические системы не рассматриваются. Сегодня для этих целей считается возможным применять только обитаемые или телеуправляемые аппараты, которые по идеям, заложенным в их конструкции, подобны сухопутным и глубоководным полуроботам. Подобны по той простой причине, что все это «семейство» призвано работать в условиях, недоступных человеку, или, как часто пишут в специальной литературе, в экстремальных условиях.

При создании космических аппаратов добавляются еще две трудности, обусловленные невесомостью и колоссальными расстояниями, на которые необходимо передавать всю информацию, сигналы управления, сигналы обратной связи.

Как уже говорилось в первой главе, таких аппаратов сейчас не существует в натуре, но рисунки, чертежи, проекты, хотя они публикуются очень скупо, все-таки дают представление о том, какими путями идут мысли конструкторов.

Космическое такси — такое название они дали обитаемому аппарату, предназначенному для обслуживания и ремонта спутников и космических станций. Это своеобразная капсула, рассчитанная на одного оператора, как бы «костюм» космонавта. Она имеет достаточно жесткую конструкцию, позволяющую снаружи прикрепить к ней небольшие ракетные двигатели и пять механических рук. Размеры этого аппарата достаточны, чтобы внутри его устроить пост управления этими руками и двигателями, используемыми для движения в космосе и сближения с обслуживаемым объектом.

Космическая станция может служить базой, гаражом для нескольких таких такси, где их операторы будут проводить свободное от работы время. А в рабочее время они будут обслуживать, ремонтировать, собирать и разбирать, заменять части и узлы спутников связи, метеорологических спутников, телевизионных спутников и т. п.

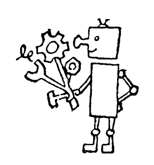
Конструкторы не питают надежды, что аппарат в условиях невесомости и абсолютного вакуума сумеет, сблизившись с объектом, парить над ним. Три руки пятирукой капсулы предназначены для того, чтобы она

ими могла надежно прикрепиться к объекту. Две другие руки, обладающие каждая семью степенями подвижности, предназначены для выполнения всех необходимых работ.

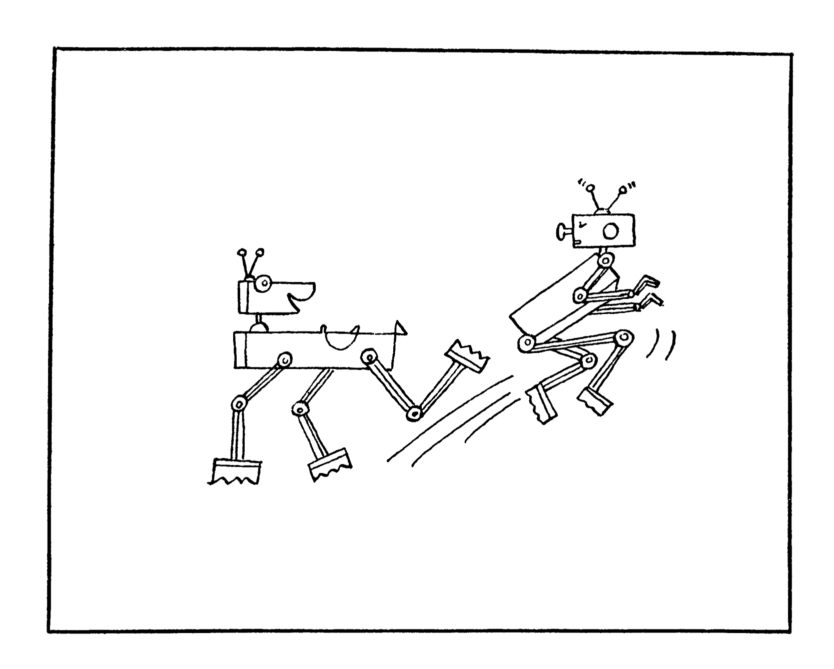
Космическое такси, как вы, вероятно, уже догадываетесь, имеет опасного конкурента — телеуправляемую систему. Опять все те же соображения! Обитаемый аппарат требует помещения для оператора, специальных устройств жизнеобеспечения.

А телеуправляемый аппарат можно вывести на орбиту и оставить его там всегда готовым к работе. Его оператор или операторы, а также другие специалисты будут работать, отдыхать, есть и спать в обычных условиях. Такой аппарат — это сравнительно небольшая платформа, нагруженная оборудованием и системами телеуправления, «экипированная» двигателями и механическими руками, — по расчетам конструкторов, можно спроектировать, чтобы его вес не превышал 250 земных килограммов.

Но как все-таки быть с эффектом присутствия? Ведь каждому ясно, что живые «телекамеры» могут увидеть намного больше и намного лучше любых технических устройств, и люди — обладатели этих телекамер — во многих случаях используют увиденное гораздо быстрее и эффективнее, чем это сделает земной экипаж телеплатформы. Соревнование между обитаемыми и телеуправляемыми системами продолжается.



СТОПОХОДЯЩИЕ



СДЕЛАЕМ ОДИН ШАГ

Наш далекий предок таскал грузы на собственном горбу. Взвалив на спину тушу убитого зверя, он нес ее на стоянку, обходя валуны, пробираясь между деревьями, увязая в песчаных, илистых, заболоченных почвах, взбирался на крутые откосы, горы и скалы. Грубо оценивая его возможности, считают, что за день он мог перенести груз, равный его собственному весу, на расстояние 10—15 километров.

Транспортные возможности значительно выросли, когда человек догадался использовать для этой цели животных. Грузоподъемность вьючного животного примерно втрое превышает возможности человека при не слишком большом увеличении дальности перевозок. Но оно не умеет так ловко, как человек, карабкаться по крутым склонам, продираться сквозь лесную чащу.

Около 6 тысяч лет назад человек изобрел колесо.

Колесная повозка по сравнению с вьючным животным чуть не в десять раз увеличила возможность перемещать грузы, однако при этом приходилось тщательно выбирать путь движения. Даже небольшие и совсем несложные для человека препятствия оказывались для повозки непреодолимыми; понадобилась искусственная дорога. Усовершенствование экипажей, повышение их скоростей требовали улучшенных дорог; улучшенные дороги открывали путь к усовершенствованию экипажей. Изобретение железной дороги привело к тысячекратному увеличению объемов перевозимых грузов и дальности их перевозок.

Сегодня автомобили и поезда пересекают сушу во всех направлениях, и складывается впечатление, что «на колесе» можно проехать куда угодно. Наивность такого взгляда становится очевидной, если вспомнить, какие гигантские пространства до сих пор непроходимы для обычных транспортных средств. А в последние годы ведутся исследовательские и конструкторские работы, имеющие целью создать экипажи, которым предстоит двигаться по поверхности других планет.

В первую мировую войну появился гусеничный ход. Гусеничные машины наряду с колесными вошли в строй и широко используются в мирное время в условиях бездорожья. Представление о том, насколько гусеничный ход эффективнее колесного, дают следующие числа: при движении по мягкой почве удельное давление на почву у гусеничной машины в 7—8 раз меньше, чем у колесной, а мощность, необходимая для передвижения, в пересчете на единицу веса в четыре раза меньше. Казалось, оптимальное решение найдено, ничего лучше гусеничного хода для бездорожья не придумаешь!

А между тем поиски продолжаются. Одно из направлений этих поисков привело к шагающим машинам — педипуляторам, приблизительно воспроизводящим движения нижних конечностей человека, стопоходящего животного. Создано много различных конструкций таких машин, использующих для передвижения принцип шагания вместо обычного перекатывания. Интерес к ним возник уже давно. Достаточно сказать, что теорией стопоходящей машины занимался еще в прошлом веке выдающийся русский математик П. Чебышев.

Какими соображениями руководствуются ученые и инженеры, обращаясь к шагающим машинам? В чем же

иногда проявляются преимущества машин этого типа перед колесными и гусеничными?

При передвижении по неприспособленной поверхности принцип шагания позволяет при каждом шаге выбирать место, наиболее удобное, чтобы ступить ногой. Колесная и гусеничная машины оставляют за собой не пунктирный след стопы, а непрерывную колею, они не умеют переступать, перешагивать, и их нельзя этому научить. Глубокий след, остающийся за колесом или гусеницей, — результат уплотнения почвы — процесса, неизбежно связанного с затратой большого количества энергии. Стопа шагающей машины, как и стопа человека, тоже вдавливается в мягкую почву, и такое движение тоже сопряжено со значительным расходом энергии, однако опыты свидетельствуют, что расход ее меньше, чем у колесных и даже гусеничных машин.

Наряду с этими преимуществами шагающим машинам свойственны серьезные недостатки. Колеса и гусеницы машин движутся непрерывно, равномерно. Ноги же шагающей машины по отношению к ее корпусу, как и ноги человека по отношению к туловищу, движутся очень сложным образом. Поддержание такого движения требует затраты сравнительно большой энергии, при убыстрении его темпа быстро растут инерционные нагрузки. Шагающая машина не может и никогда не сможет двигаться со скоростью, хоть сколько-нибудь приближающейся к скорости колесной машины, это исключает целесообразность ее применения для движения по дорогам. Конструкция ноги шагающей машины, как и живой ноги, всегда оказывается сложной, она включает несколько подвижных сочленений, каждое из которых нуждается в независимом приводе.

Недостатки стопохождения — неизбежная плата за маневренность и подвижность. Человек легко и быстро поворачивается вокруг вертикальной оси, может прыгать на одной или двух ногах по ровной и неровной поверхности, по ступеням лестницы, не поворачиваясь, отходить назад или в сторону, может приседать, менять походку, переходить на бег, переступать и перепрыгивать. Удивительные возможности этого способа передвижения — вот что направило поиски инженеров, ученых и конструкторов в область стопохождения.

Изучались и изучаются способы передвижения, используемые различными животными и насекомыми,

движущимися шагом, бегом и рысью, галопом и прыжками.

Поначалу движение прыжками казалось наиболее предпочтительным. Механизм прыгающей машины сравнительно прост: два неуравновешенных груза, вращающихся в противоположные стороны, развивают периодическую силу, действующую вдоль некоторой оси. Направлением действия силы легко управлять путем дополнительного поворота грузов. Под действием периодической силы площадка, на которой установлены грузы и приводящий их во вращение двигатель, может прыгать вперед или назад; меняя скорость вращения грузов, можно регулировать длину прыжка. Все бы хорошо, но...

Кузнечик, оттолкнувшись от земли, крылышками поддерживает в полете равновесие и меняет направление и скорость движения, выбирая точку приземления. Кенгуру для этих целей использует хвост. Прыгающую машину при сколько-нибудь большой длине прыжка тоже надо было бы снабдить устройствами стабилизации и управления, чтобы она не кувыркалась в полете. Может быть, это и можно сделать, но тогда от ожидаемой простоты конструкции не останется и следа. Кроме того, чем выше и дальше прыжок, тем сильнее удар о землю; и чтобы спасти груз и машину от поломок, экипаж от увечий, ее нужно снабдить амортизацией, сравнимой с той, какую обеспечивают задние ноги кенгуру или кузнечика, блестяще приспособленные не только для отталкивания, но и для приземления. Поэтому движение прыжками осталось уделом некоторых конструкций механических трамбовок, медленно перемещающихся по обрабатываемой поверхности.

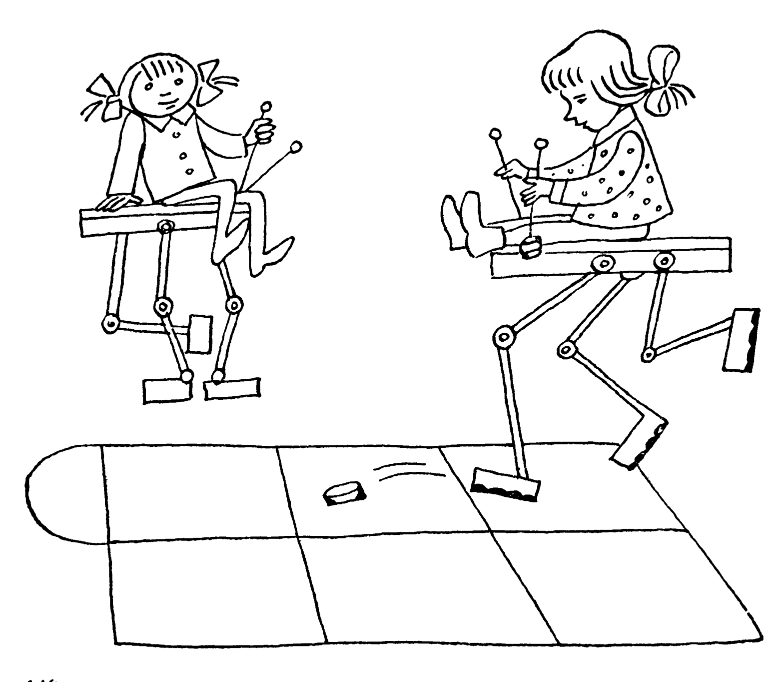
Чем отличается бег от ходьбы? При ходьбе все время хотя бы одна из ног находится в контакте с землей, а во время бега опорные периоды чередуются с безопорными; чем шире шаг, тем длиннее безопорный период. Бегущий человек не задумывается над тем, как поддерживать равновесие тела, как ускорять и замедлять бег, переходить на шаг, удлинять или укорачивать его, — все это он делает «автоматически». Но вот если попытаться построить машину бегающей, движущейся рысью или галопом, то над этим вопросом придется серьезно задуматься. Пока, насколько нам известно, дальше размышлений на эту тему никто не пошел.

Дорога поисков привела к машинам, передвигающимся не бегом или галопом, а неторопливым шагом. И тут возникает немало вопросов, связанных с попыткой в полном объеме воспроизвести походку стопоходящего существа. Чтобы в этом убедиться, поставим левую ногу немного впереди правой и затем сделаем всего лишь один шаг. Проследим, с какими действиями этот шаг сопряжен.

1. Прежде всего начинает двигаться туловище так, что центр тяжести тела перемещается вперед и немного влево, его вес переносится на левую ногу.

2. Правая нога начинает сгибаться в тазобедренном и коленном суставах. Вот уже правая пятка оторвалась от земли, оттолкнулся правый носок, сообщив телу движение вперед.

3. Теперь правая нога в воздухе. С разными угловыми скоростями сгибаются ее бедро и голень так, что, когда она оказалась впереди левой ноги, бедро и голень уже вытянулись в прямую линию и скорость их замедляется к моменту касания правой пяткой земли.



4. А движение тела продолжается, и в момент, когда правая пятка коснулась земли, его тяжесть начинает переноситься на правую ногу (вперед и немного направо).

Так в грубых чертах и очень приблизительно выглядит механизм одного шага. Он сопряжен со сложнейшими движениями рук, туловища и головы. Причем все части человеческого тела движутся в различных направлениях, с различными амплитудами отклонений и различными скоростями. Искусственно воспроизвести такое сложное движение практически невозможно, и при попытках построить шагающую машину нет речи о том, чтобы повторить в ней весь механизм шагания человека или другого стопоходящего животного. Нога машины, как рука манипулятора, только приблизительно антропоморфна и, конечно, только в самом скромном объеме может воспроизводить двигательные функции естественной нижней конечности.

ШАГАЮЩИЙ ГРУЗОВИК

В детстве вы, наверное, пробовали ходить на ходулях. Длинная палка, к ней на некоторой высоте прикреплена опорная площадка для ноги — вот вся нехитрая конструкция ходули.

Оказывается, ходить на ходулях легче, чем стоять на месте. Новичок, чтобы сохранить равновесие, вынужден все время двигаться, хаотически переступая вперед и назад, смещаясь вправо и влево. Даже опытный «ходульных дел мастер» — цирковой артист, исполняя номера, связанные с поддержанием равновесия, непрерывно перемещается.

Можно усложнить конструкцию ходули, снабдив ее двухзвенным механизмом, имитирующим бедро и голень ноги. Связав две такие ходули общей площадкой, можно построить двуногий шагающий механизм. Для привода в движение механических ног можно использовать внешние источники мощности, например электро- или гидропривод, а за человеком оставить функции управления. В результате получится двуногая шагающая машина.

Все бы хорошо, но управление ею займет внимание оператора в течение всего периода пользования, неза-

висимо от того, движется он с машиной или пытается стоять на месте: он не сможет ни на секунду отвлечься от непрерывного балансирования. И пожалуй, самый главный довод против двуногих шагающих машин заключается в том, что если привод одной из ног внезапно выйдет из строя и это произойдет, когда вторая нога в воздухе, то катастрофа становится неизбежной.

В созданиях живой природы проглядывает определенная закономерность: чем ниже организация животного, тем бо́льшим количеством ног оно располагает. Насекомому природой дано шесть ног, стопоходящему животному — четыре ноги, «венцу творения» — человеку — две. При создании шагающих машин пришлось пойти примерно по тому же пути — делать число ног тем большим, чем ниже уровень организации машины.

Начнем ознакомление со стопоходящими машинами с четырехногой машины, которую иногда называют шагающим грузовиком, иногда механической лошадью. Машина, построенная в США, весит около 1,5 тонны, ее длина достигает 3,5 метра, высота 3 метров, длина ноги 2,3 метра. Она снабжена 90-сильным автомобильным двигателем, приводящим гидронасос, питающий гидродвигатели механизмов ног.

Каждая из ног представляет собой трехзвенный рычаг или трехзвенный манипулятор, все звенья которого движутся в одной плоскости. Движение каждого из сочленений осуществляется отдельным приводом. Оператор располагается в кабине, помещающейся в центральной части машины, руками он управляет передними ногами машины. Управление сводится к тому, что оператор как бы ходит в кабине, двигая в некоторой привычной ему последовательности руками и ногами, причем руками он держит рукоятки, а ноги его стоят на педалях.

Одновременно с движениями рукояток и педалей, воздействующих на гидромеханические сервосистемы, начинают двигаться ноги механической лошади, грузоподъемность которой достигает 500 килограммов, а скорость 10 километров в час. Оператор управляет одновременно 12 приводами и естественным образом может изменять длину шагов и темп движения «лошади». Все каналы управления обратимы — оператор чувствует сопротивление почвы, когда на нее становится нога ма-

шины, так, будто почвы касается непосредственно его нога.

Естественно, что управление такой машиной требует от оператора определенных навыков, начиная с выработки оптимальной походки.

Человек, счастливый обладатель всего лишь двух ног, не должен задумываться, какой ногой ему надо делать второй шаг, если первый шаг он сделал левой. Ясно, что второй шаг надо сделать правой, иначе он рискует оказаться в положении, которое занимает гимнаст, делая так называемый шпагат.

Лошадь или корова, сделав шаг, например, передней левой ногой, оказываются перед проблемой довольно обширного выбора, что делать дальше. Чтобы разобраться в этом, обозначим переднюю левую ногу механической лошади цифрой 1, переднюю правую — цифрой 2, заднюю правую — цифрой 3, заднюю левую — цифрой 4. Будем считать, что одновременно в воздухе может быть только одна нога, иначе машина может опрокинуться. Если перебрать все варианты переступания ногами, окажется, что возможны шесть видов походок, в зависимости от того, какой последовательности придерживаться:

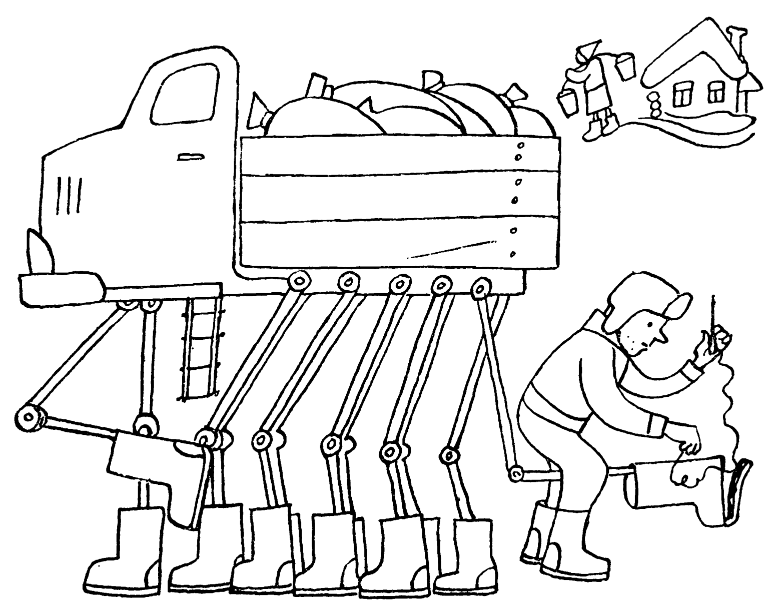
1—2—3—4	1—3—4—2
1—2—4—3	1—4—3—2
1—3—2—4	1—4—2—3

Анализ показывает, что разным походкам свойственна различная степень устойчивости. Лошади и корове природа определила для медленной ходьбы, например, когда они передвигаются по пастбищу, походку типа 1—3—2—4, которая, как оказывается, обладает максимальной устойчивостью.

Шагающий грузовик построен давно и давно прошел испытания. Что они показали? Оператору удается одновременно управлять 12 сервосистемами и воспринимать и реагировать на 12 усилий, отраженных на его руки и ноги. К сожалению, нам неизвестно, какой из шести возможных походок пользовался оператор шагающего грузовика.

Чтобы управлять машиной, нужна тренировка, позволяющая оператору освоить ряд важных особенностей, значительно отличающих машинную походку от естественной.

Прежде всего существует рассогласование между



управляющими движениями оператора и движениями ног машины, между моментом, когда сопротивления прикладываются к ее ногам и их подвижным сочленениям, и моментом, когда эти сопротивления чувствует оператор. Оператор сидит и поэтому испытывает при движении машины значительно меньшие усилия, чем их испытывает человек при ходьбе, когда воспринимает полностью вес своего тела. Наконец, движения оператора передаются ногам машины в четырехкратно увеличенном масштабе, то есть шаг машины в четыре раза больше шага оператора; чтобы при этом правильно соразмерять усилия и перемещения, тоже необходим навык.

Несмотря на все эти и другие особенности, усложняющие задачу оператора, опыты показали, что осуществить такой способ взаимодействия человека и машины можно. Повинуясь оператору, машина при испытаниях шла вперед и назад, поворачивалась на месте, балансировала на двух диагонально расположенных ногах, проходила через узкие проходы, тащила по полу груз весом полтонны, поднимала одной передней ногой груз в 200 килограммов, укладывала его на платформу автомобиля и т. д.

Человек и машина связаны в единый биотехнический агрегат. Ноги машины повторяют движения ног человека; выбор темпа движения, приспособление походки к условиям движения, соразмерение шагов с встречающимися на пути препятствиями, способы преодоления препятствий — все это определяет оператор. Его задачи примерно те же, что и при работе на копирующем манипуляторе.

Только вместо двух механических рук ему приходится управлять четырьмя механическими ногами, но зато каждая из ног движется проще в плоскости. Каждая из рук обычного копирующего манипулятора обладает шестью степенями свободы (исключая движение захвата), значит, управляя двумя руками манипулятора, оператору приходится иметь дело с 12 степенями свободы. В шагающем грузовике каждая из ног обладает тремя степенями свободы, для четырех ног получаются те же 12 степеней свободы.

Работы по созданию шагающего грузовика носили поисковый, экспериментальный характер. На базе таких работ часто появляются новые предложения и изобретения. Так, в частности, в технической печати обсуждается возможность создания машины, сочетающей принципы шагания и перекатывания. По хорошей дороге машина катится на колесах; при движении по бездорожью колесо играет роль стопы, а шагание осуществляется управляемым механизмом подвески колеса.

В принципах построения шагающих машин, как и в принципах построения полуроботов, обнаруживаются две тенденции. Одна проявляется в стремлении обеспечить оператору эффект присутствия — посадить его в машину, другая — создать телеуправляемую систему.

МНОГОНОГИЕ МАШИНЫ

Мы уже знаем о многообразии походок у четвероногих. Еще большее разнообразие их свойственно насекомым. Походка насекомого может сильно меняться, например, в зависимости от скорости его движения. При медленном движении, скажем, жук, имеющий шесть ног, может ходить, переставляя поочередно по одной ноге; варьируя при этом очередность, он имеет возможность выбрать одну из 120 типов походок.

При большей скорости движения в фазе переноса могут одновременно находиться по две ноги, обычно по одной из трех левых и трех правых; таких походок — симметричных и несимметричных — может быть девять. Наконец, когда жук торопится, он переступает одновременно тремя ногами: двумя левыми и одной правой, затем одной левой и двумя правыми. Он идет так, что всегда опирается на три ноги, образующие опорный треугольник, внутри которого располагается центр тяжести его тела. Шесть ног — минимальное число, которое обеспечивает возможность идти медленно или быстро, не раскачиваясь из стороны в сторону, как это приходится делать двуногим и четвероногим, чтобы непрерывно сохранять устойчивое положение.

Вот почему давно обсуждаются возможности (и конструкции) многоногих шагающих машин. Для такой машины вопросы устойчивости становятся особенно важными, когда она предназначена для автономного передвижения и не несет оператора, управляющего ее походкой, каждое мгновение готового своими действиями так или иначе стабилизировать ее положение. Без оператора «уровень организации» оказывается сравнительно низким, приходится число ног увеличивать. Лишняя пара ног машины позволяет оператору избавиться от необходимости балансировать вместе с ней; позволяет заниматься вопросами управления, отойдя от нее на расстояние и не ощущая ее движений.

К настоящему времени уже разработано несколько типов многоногих шагающих машин. С вопросами их создания, принципами построения и устройства удобнее всего ознакомиться на примере шестиногой машины, получившей название «Лунный пешеход» (США).

В отличие от ноги шагающего грузовика каждая нога «Лунного пешехода» автоматически движется по наперед заданному закону, который определяется структурой и размерами специального механизма, приводящего в движение ее бедро и голень. Посредством этого механизма вращательное движение электродвигателя преобразуется в шаговые движения ноги. В корпусе машины помещаются два одинаковых устройства — приводы для четырех левых и четырех правых ног.

Кинематика шага, определяющая траекторию движения ноги, включает четыре интервала: 1) опорный, занимающий половину времени движения ноги;

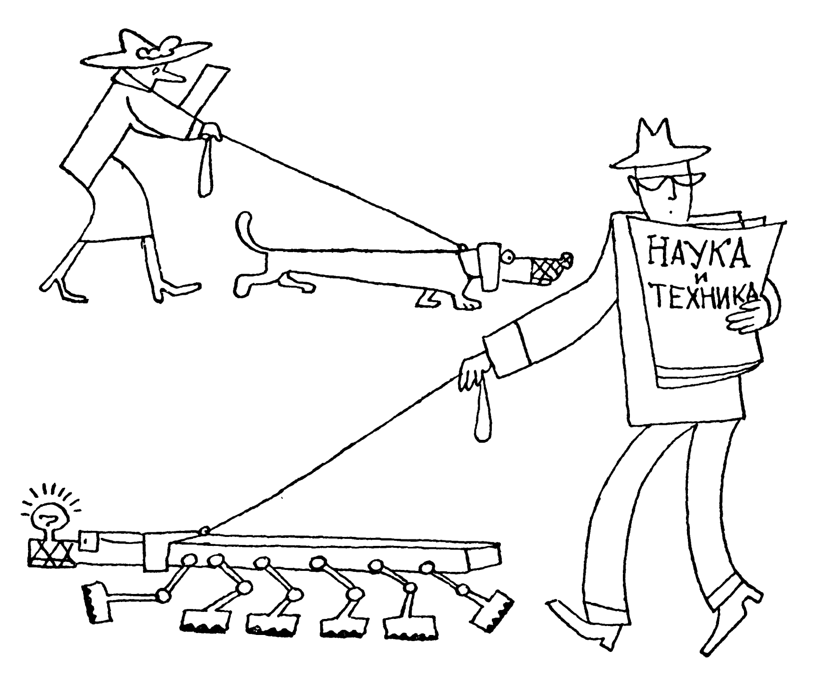
2) подъема ноги; 3) переноса ноги; 4) приземления ноги. Три последних этапа, на протяжении которых нога не касается опорной поверхности, также занимают половину времени одного шага. При такой кинематике восьминогая (или шестиногая) машина в процессе движения всегда опирается на четыре (или три) ноги и сохраняет устойчивое равновесие. Таким образом, геометрия движения машины полностью определена. Будучи пущена в определенном направлении, машина будет двигаться по гладкому участку дороги, взбираться по наклонным поверхностям, перешагивать через препятствия, «делая все возможное». Конечно, в пределах, ограниченных ее размерами и мощностью привода.

ШАГАЮЩИЙ ПОЕЗД

«Лунный пешеход» — машина обратимого типа. Это означает, что она шагает не только тогда, когда работает приводной механизм, но и в том случае, когда ее толкают или тянут, как, скажем, паровоз тянет вагоны. Значит, можно себе представить две или несколько таких машин, тянущих одна другую. Проект такого поезда, состоящего из пяти «пешеходов», и был разработан.

Цель проекта состояла в том, чтобы создать транспортную систему, проходимость которой по не приспособленным для передвижения поверхностям была бы в какой-то мере соизмерима с проходимостью человека. Разрабатывалась она для армейских нужд и предназначена для транспортного обслуживания пешего взвода. Головной «пешеход» выполняет функции тягача, четыре остальных — грузовые, по одному на каждое отделение взвода. Грузоподъемность четырех «пешеходов» достигает 500 килограммов, собственный вес каждой из машин около 100 килограммов. Тягач оснащен 30-сильным двигателем внутреннего сгорания.

Движением шагающего поезда управляют с помощью длинной рукоятки, расположенной в его передней части: в зависимости от того, тянет ее оператор или толкает, тягач переключается на передний или задний ход, ею же осуществляется управление поворотом. Размеры машины и ее шагающего механизма позволяют ей



свободно перешагивать через неровности и препятствия высотой до 25 сантиметров.

До сих пор мы не пытались расшифровывать, что такое «поверхность, не приспособленная для передвижения по ней». Под это понятие, в общем, подходят и густой лес, и болото, и глубокий ров. Естественно, что, когда речь идет об оценке проходимости машины, надо оперировать более конкретными, не только качественными, но и количественными оценками состояния поверхности.

Механический «пешеход» должен передвигаться вместе с пешим армейским подразделением. Это, конечно, не значит, что он должен пройти там, где проходит без посторонней помощи солдат. Такое требование тоже было бы неопределенным — солдат может обладать навыками пловца, альпиниста. Да и не имей он их, все равно попытка построить машину, по проходимости полностью сравнимую с человеком, заранее обречена на неудачу.

Технические условия на «пешехода» были составлены в соответствии с требованиями материально-техническо-

го снабжения армейского взвода. Вот некоторые из этих условий: полностью нагруженная машина должна взбираться на тридцатиградусные склоны или проходить их по диагонали; удельное давление на почву, создаваемое стопой машины, не должно превышать 0,3 кг/см²; она должна взбираться на препятствия высотой 25 сантиметров, подходя к ним по уклону в 45 градусов, и сходить с них на уклон в 45 градусов; машина должна передвигаться по слою грязи, песка или гравия глубиной в 15 сантиметров; радиус поворота ее не должен превосходить 2 метров; она должна проходить между деревьями, растущими на расстоянии 120 сантиметров одно от другого.

Вот еще один пример, иллюстрирующий возможности применения стопоходящих машин. Речь идет о работе, выполненной Калифорнийским университетом в Лос-Анджелесе. Для самостоятельного передвижения больных с ампутированными или парализованными конечностями в медицинской практике используется кресло на колесах с электрическим приводом. Проходимость такого электрокресла сильно ограничена, оно может легко передвигаться лишь по гладкому полу, порог высотой 1,5—2 сантиметра представляет для него уже серьезное препятствие.

Была поставлена задача создать шагающее кресло для больного ребенка, сидя в котором он бы мог самостоятельно выйти за пределы помещения, погулять по саду и т. п. В конструкции был использован примерно такой же шагающий механизм, как в механическом «пешеходе». Восемь таких механизмов приводят в движение восемь ног. Независимые электроприводы для четырех правых и для четырех левых ног позволяют изменять движение кресла, а для управления движением достаточно иметь один рычаг. Опыт показал, что с задачей управления таким креслом больной ребенок справляется даже в случае, если он не может шевелить ни руками, ни ногами. Ему достаточно двигать головой, подбородком нажимая на рычаг управления, переводя его вперед или назад, направо или налево.

Вот некоторые из технических условий, которые были поставлены при проектировании электрокресла. Оно должно подниматься на бортик высотой 15 сантиметров, окаймляющий тротуары на улицах, и спускаться с него; ходить по песчаному берегу; ходить по неровной дороге

с высотой неровностей до 10 сантиметров; устойчиво двигаться по уклонам до 15 градусов; иметь грузоподъемность не менее 30 килограммов.

Как видно, в некоторых случаях «бездорожными» оказываются дом с лестницами и порогами, улица с тротуарами и бортиками. Все, с чем так легко справляется человек, оказывается непроходимым для колеса.

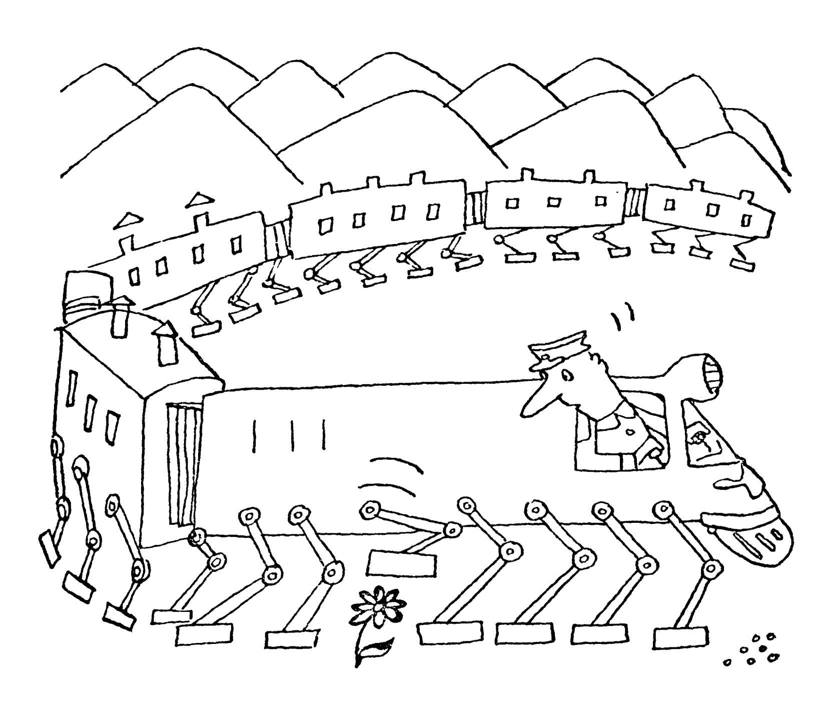
Если когда-нибудь совершится то, о чем так страстно мечтают писатели-фантасты, и люди приведут на свои предприятия и в свои дома роботов, то что надо будет делать? Строить ли предприятия и дома так, чтобы они были проходимы для колесных машин, или конструировать роботы по образу и подобию человека? Представляется, что стопоходящие машины еще не сказали своего последнего слова, что полуроботы и роботы ближайшего или отдаленного будущего окажутся антропоморфными не только потому, что будут работать механическими руками, но и передвигаться будут, шагая так, как шагает человек.

ЧЕЛОВЕК В ФУТЛЯРЕ

При создании космических скафандров ученым и инженерам приходится думать не только о защите человека от смертельной опасности вакуума. Чтобы, как говорил К. Циолковский, завоевать околосолнечное пространство, люди должны активно там действовать, работать, двигаться, монтировать установки, станции, жилые сооружения, управлять машинами и механизмами; космонавт, одетый в скафандр, должен чувствовать себя так же свободно, как человек, одетый в обычный костюм.

Решить эту проблему непросто. Раздутый воздухом скафандр препятствует движению рук и ног, пальцы рук в перчатках становятся малоподвижными — все это затрудняет выполнение многих рабочих операций. Обычные конструктивные мероприятия к эффективным результатам не приводят. Приходится использовать необычные пути.

Идея, положенная в основу одной из необычных конструкций, выглядит приблизительно так. Если космонавту, одетому в скафандр, трудно двигать руками и ногами, то, чтобы ему помочь, следует использовать



внешние источники мощности — двигатели, которые бы изгибали костюм в нужном космонавту направлении. Но непосредственно на костюме двигатели укрепить невозможно, значит, нужно построить специальный «футляр» с подвижными сочленениями, создать для космонавта как бы наружный скелет, на котором можно установить двигатели. Тогда «человек в футляре» будет легко наклоняться, двигать руками и ногами. В соответствии с этими движениями части «футляра» также будут изгибаться и поворачиваться, усиливая естественные движения человека, давая ему возможность легко обращаться с такими тяжестями, которые обычно непосильны человеку.

Такова вкратце идея устройства, которое получило название «экзоскелетон» и разрабатывается во многих местах.

Уже на первых этапах исследований стало ясно, что невозможно сделать экзоскелетон, сравнимый в отношении подвижности с живой «конструкцией». Следовательно, первая задача состояла в том, чтобы на основе биомеханических исследований выбрать расположение,

вид и число подвижных сочленений, согласующие требование максимальной подвижности с возможностью практического осуществления, а затем экспериментально проверить и уточнить выбранную кинематическую структуру.

Даже когда фактически решались только вопросы геометрии и кинематики, исследователи встретились с большими трудностями. Не вдаваясь в подробности, поясним на простых примерах, какие вопросы приходится решать при разработке устройств типа экзоскелетон.

Локтевой, коленный и другие суставы тела имеют сложное устройство. Головки костей, образующие их «кинематические пары», не просто шарниры с постоянной осью вращения. При относительных поворотах они перекатываются одна по другой, при этом мнимая ось вращения не остается неподвижной, а как бы перемещается по поверхностям контакта.

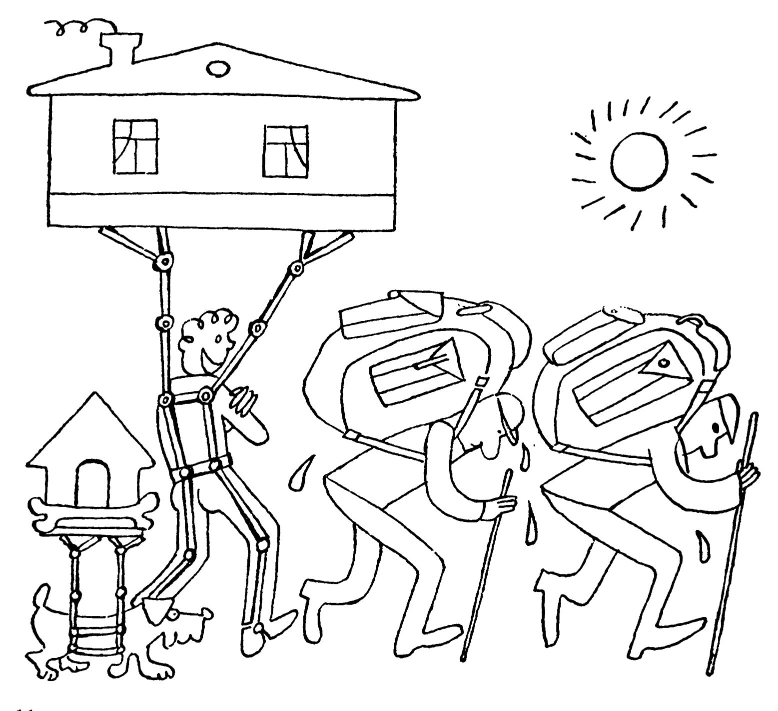
Принцип построения и геометрические свойства живых сочленений изучены мало. В экзоскелетонах, как и в манипуляторах, вместо таких сложных соединений применяют обычные шарнирные сочленения. Но если сочленения экзоскелетона движутся не совсем так, как естественные, значит, космонавт и его костюм будут двигаться по-разному. Не повредит ли это космонавту? И наконец, пусть экзоскелетон изготовлен. Как его соединить с человеком? Как сделать так, чтобы эти соединения не мешали совместным движениям биотехнической системы? Как заставить двигаться футляр, чтобы его движения были мощными и быстрыми? Как разместить на экзоскелетоне двигатели, необходимые для приведения в движение всех подвижных сочленений?

Подобные и многие другие вопросы, решение которых представляет не только практический, инженерный, но и научный интерес, составляют содержание лишь одного из разделов исследований и работ, которые ведутся сейчас в ряде стран. В конечном счете оказалось, что можно построить экзоскелетон, который позволит человеку легко поднять полутонный груз и нести его со скоростью около 1,5 километра в час.

В одном из проектов, получившем название «Хардимен», оператор с надетой на него управляющей частью системы стоит внутри антропоморфной конструкции, состоящей из двух половин, соединенных в поясной части специальным разъемным устройством. Футляр

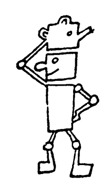
воспринимает действие внешних нагрузок и свой собственный вес и повторяет все движения оператора, за исключением движений кистей, взамен которых у экзоскелетона сделаны захваты, примерно такие же, как у обычного манипулятора. 30 степеней подвижности оказывается достаточным, чтобы машина могла выполнить множество задач, связанных с подъемом, переноской, укладкой самых различных грузов. Однако сведений о реализации этого проекта в печати не было.

В романе «Борьба миров» Герберт Уэллс описывает фантастическую картину высадки на Землю марсиан, передвигающихся с помощью шагающих машин. Есть все основания думать, что эта картина рисует будущее, как говорят, с точностью до наоборот, то есть не марсиане сделают попытку освоить Землю и приспособить ее для своих нужд, а жители Земли начнут осваивать Марс. Почему бы землянам при этом не использовать шагающие полуроботы? А возможно, удобнее будет направлять их действия и поступки с большого или очень

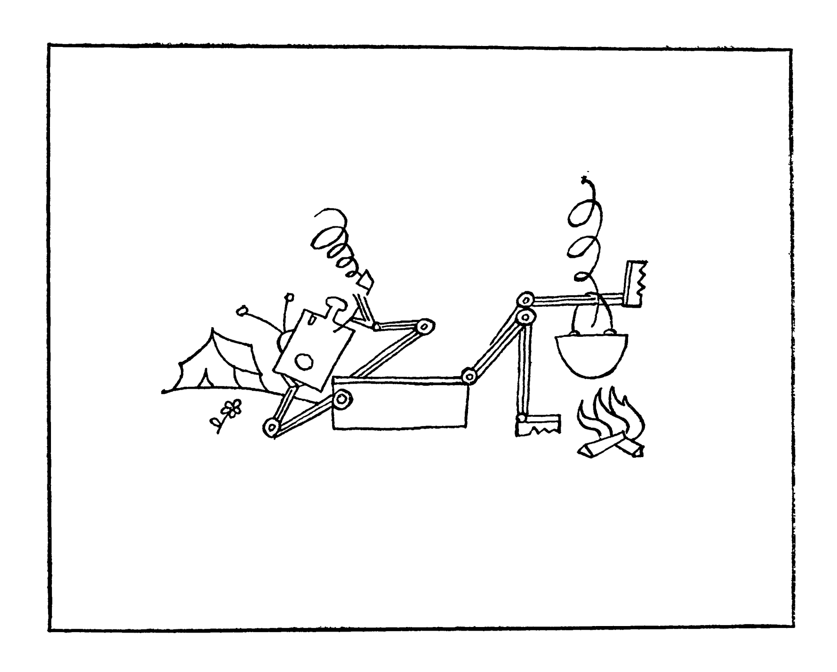


большого расстояния, так что люди при этом будут оставаться в безопасной зоне?

В последние годы предполагаемую область использования устройств типа экзоскелетон не ограничивают космосом. Есть сообщения о возможности на их базе строить шагающие манипуляторы, использовать их для подводных работ и исследований. Самое удивительное, что при этом фантазия начинает разыгрываться все больше не только у писателей-фантастов — людей, склонных в силу своей профессии представлять невозможное действительным. Ученые, инженеры, которым «по штату» положено фантазировать в самых скромных пределах, все чаще кажущееся невозможным делают практически осуществимым.



БЕСЧУВСТВЕННЫЙ РОБОТ



У КОНВЕЙЕРА И СТАНКА

Вы видели когда-нибудь, как работает сборочный конвейер на автомобильном заводе? Как движется вдоль линии длиной в добрый километр с лишним сначала один только кузов автомобиля, как он по дороге обрастает десятками, сотнями, тысячами узлов, деталей, как со всех сторон, с боков и сверху на тележках и противнях, по транспортерам, установленным на полу, подвешенным к потолку, укрепленным на колоннах, поступают на сборку двигатели, трансмиссии и колеса, болты, гайки и прокладки, стекла, сиденья и задние мосты, рычаги, муфты, трубки? Не имеет смысла перечислять здесь и малую долю из сотен названий всего того, что нужно, чтобы с конвейера в конце концов сошел готовый автомобиль. Минута — автомобиль, еще минута — еще автомобиль, автомобиль, автомобиль...

Вы были на таком конвейере? Ну тогда вы, конечно,

видели, что автомобиль собирают люди, много людей — операторов-сборщиков. Весь процесс сборки до самой мелочи расписан и «разрублен», поделен на операции, каждая операция поручена отдельному оператору, иногда двум операторам.

«Минута — автомобиль» означает, что каждую минуту человек должен начать порученную ему операцию, а по истечении минуты закончить ее. Конвейер — это вам не мастерская средневекового часовщика, который все делал сам. На конвейере специализация: минута — операция, еще минута — еще операция. Прошло два часа — десять минут отдыха, а затем: минута — операция, еще и еще.

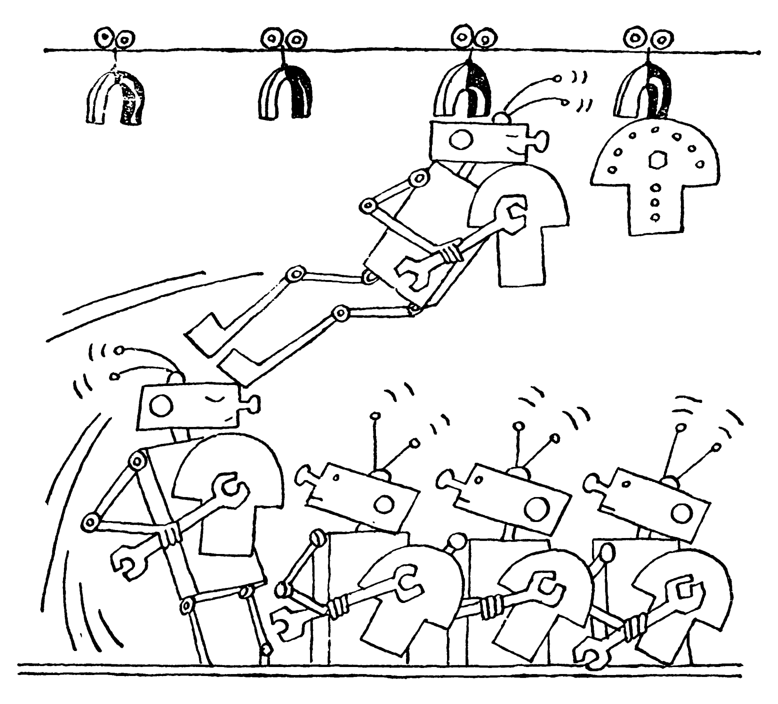
За минуту много не сделаешь. Можно установить пару колес, надев их на шпильки и затянув гайки; можно присоединить рычаги педалей газа и тормоза; можно протереть стекла салона, поставить сиденье... Каждая операция рассчитана на то, чтобы человек мог ее выполнить за минуту.

Двигатели и колеса, кузова и задние мосты пришли на главный конвейер с других конвейеров, где их собирали из отдельных узлов и деталей. И там процессы сборки поделены на сравнительно простые, короткие операции: минута или две — операция, еще минута — операция... И там эти операции тоже выполняют люди — сборщики.

Узлы и детали, поступившие на сборку, были изготовлены в цехах автомобильного завода и на других заводах: электроаппаратуры и пластмасс, резиновых изделий и стекла. А процессы их изготовления тоже «разрублены» на простые, короткие операции.

Так же обстоит дело на заводах, где производят мотоциклы и велосипеды, телевизоры и радиоприемники, швейные машины и книги. И там процессы изготовления деталей и сборка узлов и изделий поделены на операции, на более короткие или менее короткие.

Но, конечно, современное производство не средневековая мастерская, где все делалось руками. В наше время основную, тяжелую, трудоемкую работу по изготовлению деталей и изделий делают машины и автоматы. Однако невозможно построить одну такую машину или автоматическую линию, которая бы изготовила часы целиком, с начала до конца, совершенно без участия человека. Именно поэтому технологические процессы изго-



товления изделий, как и процессы сборки, поделены на операции, которые выполняют то люди, то машины.

Теперь часы, все их части и детали проходят через десятки, сотни машин и рук, так же как через сотни машин и рук проходят детали и узлы автомобиля, телевизора, пылесоса.

Миллионы разных деталей нужно обработать, миллионы разных операций нужно выполнить; обработать и выполнить их нужно миллионными «тиражами», чтобы произвести миллионы автомобилей, велосипедов, радиоприемников, других изделий массового производства, нужных миллионам людей.

Множество других изделий надо выпускать меньшими «тиражами». Но во всех случаях для их производства нужны машины, а для обслуживания машин нужны люди! люди!

Наш век — век автоматизации, но в то же время он век необычайного расширения производства. Автоматизация сделала уже много, чтобы освободить людей от тяжелых обязанностей по обслуживанию машин, но

этого «много» еще очень мало, если учитывать потребности общества сегодня, а тем более завтра.

Миллионы людей сегодня работают у машин, станков, конвейеров, выполняя однообразные операции, утомительные своей монотонностью, подчас требующие значительных физических усилий: установил заготовку, снял изделие — операция, еще минута или две — еще операция, и еще.

Машины становятся все более квалифицированными и наиболее сложную часть работы по изготовлению изделий выполняют автоматически. А человеческий труд, необходимый для их обслуживания, оказывается все более простым, менее квалифицированным. Чем шире развертывается механизированное и автоматизированное производство, тем большей оказывается потребность в таком труде — однообразном, утомительном.

Нет, конечно, славная профессия квалифицированного токаря, который сам придумает и изготовит оправки и приспособления, «выведет» биение патрона, заточит резцы и на старом станке так обработает деталь, что пальчики оближешь, — это профессия не исчезла. Но масса машин и автоматов сегодня требует такого обслуживания, когда неинтересную, однообразную часть работы приходится выполнять человеку.

Не правда ли, это, по крайней мере с первого взгляда, кажется странным? Ведь если создают множество машин и автоматов, которые самостоятельно, без участия человека, производят множество сложных и точных операций, то, казалось бы, дополнить можно их и такими устройствами, которые выполняли бы и эти однообразные, утомительные операции автоматически. Которые, например, сами брали бы заготовки, сами их как надо устанавливали, сами снимали затем готовые изделия. Почему же не строят машины с таким самообслуживанием?

Все дело в том, что операции обслуживания машин, станков, различного оборудования, множество сборочных операций оказываются простыми, только когда их выполняет человек. Если же их пытаются автоматизировать обычными традиционными методами и средствами, то в конечном счете система автоматизации получается либо очень специализированной, пригодной, например, для манипулирования только одним определенным видом изделия, что ограничивает универсальность самой

машины, либо эта система, будучи более универсальной, оказывается очень сложной, подчас более сложной и дорогой, чем сама машина.

Одним словом, действия и движения оператора при обслуживании машины настолько «человеческие», что для их автоматизации нужны специальные автоматы, роботы, или, как их называют, промышленные роботы.

Множество производственных процессов складывается из циклически повторяющихся операций. Цикличность — закон машинного, автоматизированного производства. Робот, как любой другой автомат, также предназначен для выполнения циклически повторяющихся действий. В этом смысле у него полное «родство душ» с любой машиной, какую ему поручат обслуживать.

Вместе с тем промышленный робот является системой универсального назначения. Его официальное название — автоматический манипулятор с программным управлением. В силу универсальности один и тот же робот можно использовать для обслуживания разных станков и машин, разных технологических процессов.

И наконец, робот обладает тем, что отличает его от всех других автоматов и что сближает его с человеком-оператором, то есть механической рукой, которая умеет совершать движения и действия, похожие на человеческие.

СМУТНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Простая деталь — ступенчатый валик. Вот токарный станок, за которым работает токарь. Справа от него на полу стоит деревянный ящик с заготовками, лежащими в нем навалом. В заготовительном цехе их нарезали из круглой стали, обработали торцы так, чтобы заготовку можно было легко установить на станок. Слева от токаря, на инструментальном ящике, — противень для обработанных валиков.

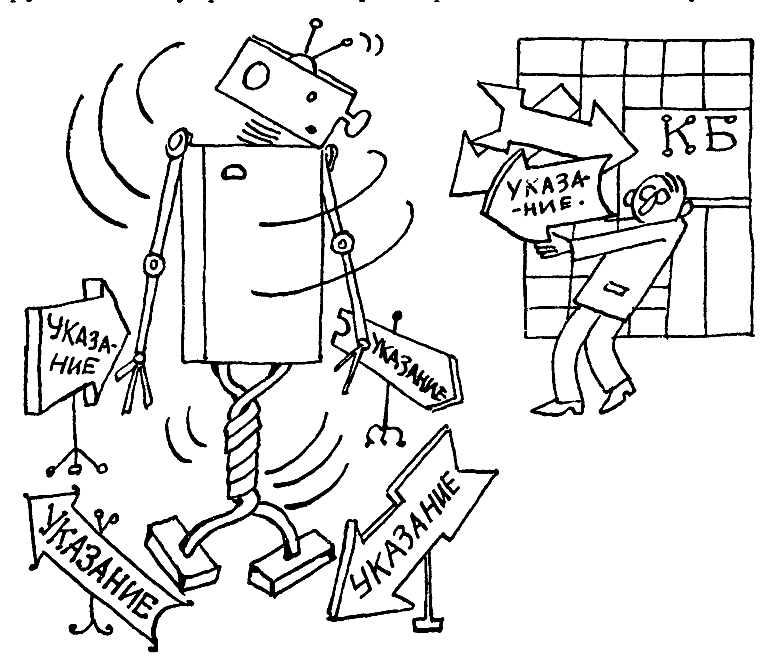
Токарь, не глядя, берет заготовку из ящика, устанавливает в зажимное приспособление и включает станок. Когда обработка заканчивается, он выключает станок, обработанное изделие кладет на противень.

Лет 40 тому назад операции установки заготовки и снятия изделий были только побочными, вспомогательными. Токарь — квалифицированный мастер, специаль-

но обучавшийся своему делу в течение двух-трех лет, выполнял много других главных операций по управлению станком, по контролю точности его работы. О простых, вспомогательных операциях возникала речь, лишь когда вес заготовок достигал 10—20 килограммов и операции по установке и съему заготовок и изделий приходилось механизировать в соответствии с требованиями техники безопасности и охраны труда. Но все же без главного, без высокой квалификации мастера, было не обойтись! А тяжелый труд? Ничего, казалось, не поделаешь! Ведь не зря же токарь — лицо физического труда.

Технологическая подготовка производства была предельно проста. Кончив обработку партии одних деталей, токарь шел к мастеру, и тот выдавал ему чертеж другой детали, партию которых ему поручалось обработать, и наряд, указывавший фамилию токаря, нормы времени.

Все! Чертеж и наряд содержали полную информацию о том, что и как ему нужно делать дальше. В них содержались совершенно ясные токарю указания о порученной ему работе. И размеры изделия, и допуски,



и твердость материала, и технические условия на «биение», «эксцентричность», «перекосы», и нормы и т. д. и т. п.

Указаний о том, что токарь должен брать заготовки из ящика, устанавливать их на станок, снимать обработанные изделия, там не было. Документация адресовалась квалифицированному человеку, который любые указания на эту тему воспринял бы как глупую шутку, недостойную внимания.

Если к станку вместо человека становится автомат, дело выглядит совершенно по-другому. Еще тогда, когда промышленные роботы существовали только в воображении их создателей, в чертежах и исследованиях, стало ясно, что нельзя будет просто взять робот за его механическую руку, подвести к станку, вручить ему чертеж и наряд, уважительно, как человеку, сказать: «Ну, ПР-2816! Беритесь за дело, теперь на вас вся надежда!» — и спокойно уйти. Вы спокойно уйдете, а он будет спокойно стоять, ничего не делая!

У средневекового мастера вся технология была в уме, а также в словах и в палке, с помощью которых он ее растолковывал нерадивым подмастерьям. 50—40 лет назад для организации производства было достаточно маршрутной технологии, чертежей и нарядов. Ведь тогда вся документация адресовалась человеку, которому все было ясно!

Ученик, подмастерье, мастер, любой человек обладает способностями понимать, запоминать, сопоставлять, учиться, использовать в трудовом процессе механизмы своего интеллекта. Каждое новое задание, новая работа обогащают, расширяют опыт, повышают квалификацию. Человеком управляет разум, человек работает «по-человечески». Чем больший опыт он накопит, тем более краткими и общими могут быть указания, тем более сложными — поручения. Он поймет и сделает.

Когда к станку вместо человека становится робот, с ним по-человечески нельзя. Ничего не получится! Роботу нужна подробная программа работы, которую ему хотят поручить. В этом смысле манипулятор с программным управлением сродни станку с программным управлением.

Ими, как всеми автоматами, управляет логика. Каждое новое задание нужно сопроводить подробной программой. Будь это задание десятым или сотым по сче-

ту — все равно! Задание нужно разработать во всех подробностях и записать в коде, понятном системе управления автомата, всем логическим цепям этой системы.

Указания, которых было достаточно человеку, а также все то, что подразумевалось само собой разумеющимся и скрывалось между строками задания, — все это всплывает как совершенно смутные, неконкретные и недостаточно полные понятия технологии теперь, когда к станку становится робот. Даже когда это задание кажется совершенно простым.

Взять заготовку и установить ее на станок? Позвольте! Откуда ее взять! На какую высоту ее нужно поднять? В каких направлениях переместить и на какие углы повернуть, чтобы она стала на место? С какими скоростями она должна двигаться и поворачиваться? Каким образом нужно установить захват, чтобы он мог удобно и точно взять заготовку? И по какой траектории его двигать, устанавливая заготовку?

Вы сами видите, насколько «по-человечески» звучит фраза «установить заготовку», описывающая одну из технологических операций; настолько просто, что ее не имело смысла упоминать в документах. И в какое смутное понятие эта фраза превращается, когда надо автоматизировать «простую» операцию — какое множество дополнительных вопросов сразу возникает!

Технологический процесс, в котором участвует человек, и полностью автоматизированный технологический процесс — это всегда два разных процесса, если даже оба они одинаковы по содержанию, оба, например, имеют назначением обработку ступенчатых валиков.

Разработка каждой новой системы автоматизации сопряжена с необходимостью отвечать на многие вопросы. Но далеко не всегда эти вопросы оказываются такими «неожиданными» и сложными, а автоматизируемые операции настолько мало «пригодными» для этой цели, как при внедрении роботов.

Когда создавались и внедрялись станки с программным управлением — станки универсальной специализации, — возникало множество вопросов о том, как строить и рассчитывать программы движений инструмента и изделия. Однако все эти вопросы не были неожиданными. Руководством, отвечающим на них, служил чертеж, тот самый, которым руководствовался то-

карь. В чертеже содержится значительная часть необходимой информации; ее легко перевести в набор цифр, логических действий, записать в коде, понятном станку, как они были понятны человеку.

Станки с цифровым управлением знаменовали важный, но только первый этап комплексной цифровой автоматизации производства. Они не исключили человека из технологического процесса, оставив на его долю «простые» операции, не требующие высокой квалификации, но самые «человеческие» по содержанию.

Промышленный робот может завершить комплексную автоматизацию, освобождая человека от непосредственного участия в процессе производства, оставляя за ним лишь обязанности поддержания и обеспечения бесперебойной работы. На этом этапе автоматизации возникает ряд смутных понятий и вопросов, неожиданных потому, что ответов на них не было ни в какой технической документации и решить их можно было различными путями.

РАЗУМ И ЛОГИКА

А что касается процессов сборки, то они до сих пор в большинстве своем представляют собой такую область технологии, которая при любой попытке что-то автоматизировать оказывается полным-полна неясностей и неожиданных сложностей. Неспроста так низок уровень автоматизации этих процессов!

Давайте проследим за тем, как человек осваивает какую-либо сборочную операцию; а вы в уме все время прикидывайте, как робот должен был бы выполнять эту операцию, какую программу действий надо ему подсказать.

На конвейер пришел новичок. Его ставят на простую операцию; период обучения этой операции короток, но он не простая формальность, а необходимый этап достижения мастерства. Хотя у обучающегося есть все, что нужно для качественного и быстрого выполнения операции: детали, инструмент, приспособления, причем все это расположено наилучшим образом, все под руками, — все равно поначалу это непросто. Каждая операция рассчитана на квалифицированного оператора — это значит, что у него гайка на болт «наживляется»

сразу, не перекашивается, не заедает; что, устанавливая в кузове автомобиля сиденье, оператор чувствует, когда и где нужно нажать, оттянуть, повернуть, чтобы оно правильно и быстро стало на место; что, присоединяя рычаги, он сумеет быстро найти нужное им положение. Всему нужно научиться, получить навыки.

Ни в одной технологии вы не найдете указания, как наворачивать гайку на болт без перекоса, когда и где нужно нажать на сиденье, чтобы оно правильно стало на место. Считается само собой разумеющимся, что человек, осваивая операцию, будет думать, соображать, как ему удобнее, проще, быстрее выполнять эту операцию. Он сам для себя найдет и построит весь набор необходимых действий и движений, сам для себя разработает подробную программу операции, прочно уложит ее в свойственное ему подмножество движений (ведь вы знаете, что два оператора одну и ту же операцию будут делать по-разному, даже если они — вы и ваш папа).

В период обучения мозг человека все время связан со всеми участками рабочего места. Он следит за движением конвейера, смотрит туда, откуда берет деталь, инструмент. Каждому движению предпосылает мысль, взгляд; каждый раз система управления этим движением — система с обратной связью — охватывает много подробностей, много объектов. Движения поначалу получаются торопливыми, излишне размашистыми. Каждый раз надо задумываться: подчас не сразу понятно, то ли лучше шагнуть за движущимся конвейером, то ли согнуться, или просто вытянуть руки...

Но вот процесс обучения окончен. Привычные движения очень экономны и не кажутся торопливыми. Глаза лишь иногда, и то мельком, оглядывают рабочее место. Обратные связи не нарушены, но система управления движениями значительно «укоротилась», стала оперативнее, требует минимального объема информации.

Ощущения, что все в порядке, теперь приходят не только и не столько от зрения, сколько от других «чувств», скрытых в мышцах и сухожилиях, от скрытых там рецепторов, реагирующих на уровень возбуждения мышц, на растягивающие их усилия (опять темные мышечные чувства!). Теперь оператор действует так же точно и быстро, как все другие члены его бригады, участка, как все операторы главного конвейера.

Вы последовали нашему совету? Следя за рассказом о процедуре обучения, вы прикидывали, насколько полезны все подробности в случае, если возникнет задача заменить человека у сборочного конвейера роботом? Вы не прикидывали, вам трудно? Специалисты по автоматизации очень даже прикидывали и прикидывают!

Ученье — свет! Но этот «свет» не поддается количественному измерению, его нельзя перевести в числа, закодировать и «запомнить» в программе управления роботом. Для робота операции, которые выполняют операторы-сборщики, слишком «человеческие», люди не могут его им научить, они знают, что нужно сделать человеку, но во многих случаях не знают, как это должен делать робот.

Один из первых кибернетиков, покойный ныне профессор Норберт Винер, в своей книге «Творец и робот» писал:

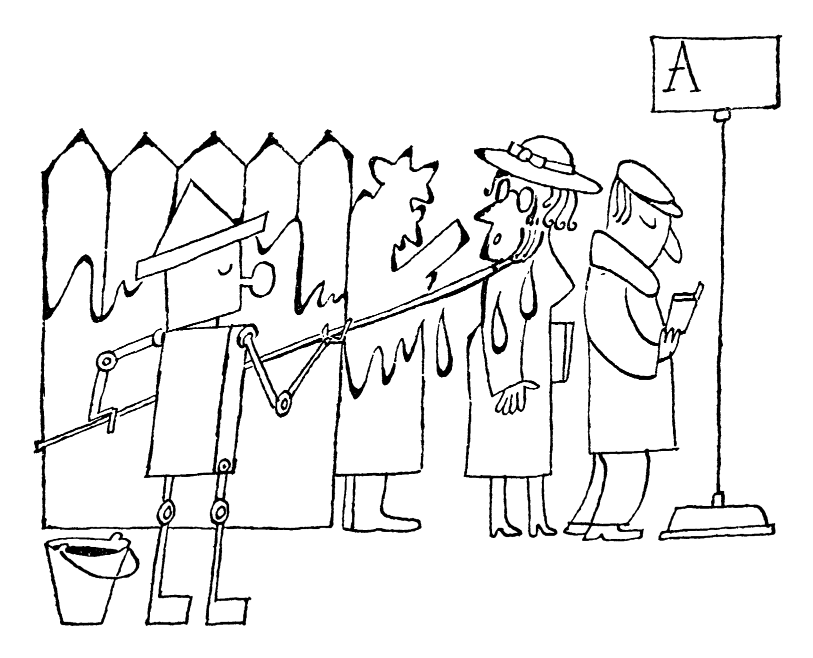
«Главное из преимуществ мозга перед машиной — способность оперировать с нечетко очерченными понятиями. Наш мозг свободно воспринимает стихи, романы, картины, содержание которых любая ЭВМ должна была бы отбросить как нечто аморфное».

Умение оперировать с нечетко очерченными понятиями Н. Винер считал не просто одним из преимуществ естественного интеллекта перед ЭВМ, а главным преимуществом!

Эта точка зрения была им сформулирована свыше десяти лет назад, но вряд ли сегодня можно противопоставить ей иную точку зрения, вряд ли можно даже предсказать, когда машина научится, подобно человеку, увязывать возглас собеседника «Вот это да!» с содержанием вашей с ним беседы и получать совершенно четкое представление о его отношении к существу этой беседы. А человек увяжет и получит!

Умение человека понимать между строк проявляется не только тогда, когда оперируют такими сложными категориями, как живопись, музыка или поэзия, но и в значительно более простых ситуациях, тех, которые нас больше всего интересуют, которые связаны с нашей трудовой деятельностью.

Ученье — свет только в тех случаях, когда методы ученья хорошо согласованы с возможностями и способностями обучаемого. В противном случае это не свет, а сплошная тьма.



Человеком управляет разум, автоматом — логика. Именно это различие всегда определяет различие между процессом, выполняемым с участием человека, и процессом, полностью автоматизированным.

Когда возникает задача полностью автоматизировать процесс обслуживания станка, то, решая ее, прежде всего необходимо согласовать уровень организации всего процесса в целом с возможностями создаваемой системы автоматизации: в нашем случае — уровень организации «рабочего места» робота с его техническими характеристиками.

Две различные точки зрения возможны, когда решается задача такого согласования. Одна основывается примерно на таком рассуждении: «Понятно, что робот не человек! Но все-таки очень желательно, чтобы он заменял человека у станка без всяких изменений технологии и оборудования. Токарь брал заготовки из ящика как хотел, и пусть робот сам разбирается, как они в этом же ящике лежат, и пусть берет их оттуда как хочет. В общем, пусть все проблемы автоматизации решают создатели роботов, чтобы у нас с этими проблемами никаких других хлопот не было».

Этого взгляда могут придерживаться те, кто находится во власти своих интуитивных представлений о роботе, сложившихся под влиянием фантастических рассказов. Общепринятой среди специалистов по робототехнике является другая точка зрения, такая: «Понятно, что при замене человека роботом возникает ряд проблем. Решать эти проблемы следует, так сказать, с двух концов. Нужно стремиться максимально расширять функциональные возможности робота и вместе с тем так изменять технологию процесса и конструкцию машин и оборудования, так организовывать в каждом случае у каждого станка рабочее место робота, чтобы эти возможности максимально использовать».

Вероятно, мало кто может сомневаться в том, что эта точка зрения единственно правильная. Но она никогда не дает и не может дать однозначного ответа на вопрос — каковы же должны быть конструкция и устройство самого робота?

Пожелания «максимально расширить возможности робота» и «наилучшим образом организовать его рабочее место» весьма нечетко очерчивают, что именно имеется в виду, как именно следует выполнять эти пожелания. Ученые и инженеры, придерживаясь единого взгляда на подход к решению проблемы роботизации, поразному оперируют с этими нечетко очерченными понятиями.

Тем не менее первые результаты уже налицо. Первое поколение промышленных роботов уже работает у станков, машин, линий, хотя пока еще их немного.

ПЕРВОЕ ПОКОЛЕНИЕ

Когда говорят о людях одного поколения, то имеют в виду группу людей, живущих на протяжении одного и того же исторического отрезка времени, и совершенно не имеют в виду их способности, квалификацию или обязанности, которые они выполняли.

Когда говорят о роботах первого поколения, совершенно не имеют в виду год их выпуска, а характеризуют этим названием только уровень их функциональности, «квалификации».

Роботы первого поколения не «видят», не «осязают», они не имеют никаких «органов чувств — механизмов»,

которые информировали бы их о том, что происходит в рабочей зоне, там, где расположен объект манипулирования, как он себя ведет. Все, что должен делать такой робот, надо ему задать во всех подробностях до того, как он начнет работать. Его нужно «научить» заранее, в процессе работы он ничему не может научиться, опыт работы ему впрок не идет.

Робот первого поколения — автомат с программным управлением, отличающийся от всех других таких автоматов специфическим устройством исполнительного органа, представляющего собой механическую руку, обладающую тем или иным числом степеней подвижности в зависимости от ее конструкции и уровня универсальности движений, на который она рассчитана.

Несмотря на такую принципиальную простоту современных промышленных роботов, их конструктивные решения чрезвычайно разнообразны. Разнообразны конструкции механических рук, разнообразны системы управления их движениями, методы их «обучения», программирования. Инженеры и конструкторы не строили и не строят эти машины «по своему образу и подобию», и тому есть веские причины.

Руки у всех людей устроены одинаково; одно и то же число подвижных сочленений, одинаковые вид и конструкция, одинаковое количество мышц, одинаковые системы управления; мы уже достаточно подробно познакомились с их «техническими характеристиками».

Менее известен тот факт, что у всех людей приблизительно одинаковы даже относительные размеры всех звеньев руки — плеча, предплечья и характерного размера кисти. В среднем у всех людей длина плеча составляет 0,46 длины всей руки, предплечья — 0,40, кисти — 0,14. Отклонения от средних значений у разных людей очень невелики, так же как отклонения от средних величин углов поворотов в суставах.

Отсутствие в конструкции нашего тела сочленений, допускающих относительное вращение или значительные поступательные перемещения сочленяемых звеньев, можно объяснить понятными конструктивными соображениями. Мы это пытались сделать раньше. Что же касается удивительного постоянства относительных размеров звеньев живой руки, неизменно повторяющихся миллиарды раз, то нам не удалось нигде найти ответ на, казалось бы, самый естественный вопрос: чем это

постоянство объясняется? Как здесь проявилась мудрость Природы? А кстати, нигде нет ответа на еще более простой вопрос: чем пять пальцев кисти лучше четырех или шести? Даже на этот вопрос вы не найдете ответа, если не считать наивных соображений о том, что четырех пальцев мало, а шести — много!

Мы не напрасно уделяем так много места рассказу об устройстве и свойствах нашего тела. Мы хотим вместе с вами разобраться в том, насколько глубоко и последовательно можно использовать в робототехнике подход, основанный на методах бионики, на изучении особенностей и свойств естественных, живых систем с целью воспроизведения этих особенностей и свойств в искусственном, неживом.

Очень полезный сам по себе, этот подход хорошо «работает», когда речь идет о внешних проявлениях деятельности живой системы, о том, что она делает. Машины и автоматы в конечном счете делают то, что раньше делал человек или что он собирался или собирается делать. На этом уровне бионический подход оказывается чрезвычайно полезным.

Но по мере того как пытаемся проникнуть в глубь изучаемых процессов, переходим от вопроса «что делает?» к вопросу «как делает?», так, к сожалению, полезность бионического подхода резко убывает.

Чрезвычайно полезно было заметить ту множественность функций, ту универсальность, какая свойственна живой руке, а затем воспроизвести эти ее «генеральные» свойства в механической руке. Но зачем делать механическую руку антропоморфной, зачем навязывать ей структурные, кинематические, другие ограничения, несущественные для механической системы? Зачем ее звеньям придавать относительные размеры, свойственные живой руке, не умея объяснить, в чем преимущество этих размеров перед какими-либо другими?

Никто не ответит убедительно на эти вопросы, на многие другие вопросы, касающиеся механизмов управления, обучения и самообучения в живых системах.

Машина — не человек. В ней все проще, понятней. Но машина — не таблица умножения, в которой всегда $2 \times 2 = 4$. Одну и ту же группу задач автоматизации могут успешно решать самые различные роботы, а существующее уже сегодня разнообразие и изобилие этих задач дает все основания думать, что вообще не суще-

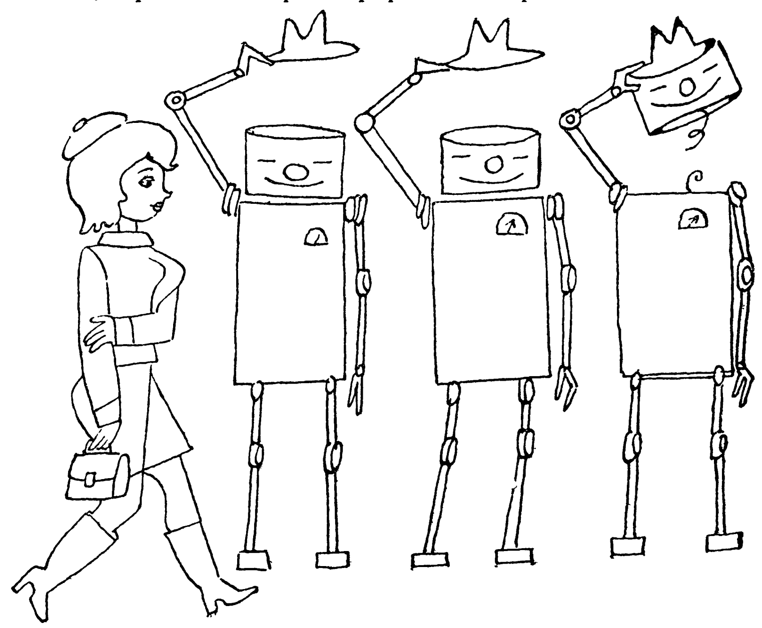
ствует одной-единственной исключительной конструкции робота, которая была бы наилучшей со всех точек зрения для любых применений.

Опыт Природы, создавшей для всех «человеческих» применений единственную «конструкцию» в виде нашего тела, не является убедительным, когда речь идет о роботах.

Наша книга не справочник по робототехнике, но два-три примера, иллюстрирующих сказанное здесь, не будут лишними.

Один из первых промышленных роботов — робот «версатран», который до сих пор выпускается в США и в Англии. Он, как и все машины с программным управлением, как все другие конструкции промроботов, состоит из двух блоков: исполнительного, включающего руку со всеми приводами, обеспечивающими ее движения, и управляющего — в виде отдельного пульта.

Описание его устройства и принципа действия, сделанное сухим, техническим языком, выглядит так. Механическая рука с кистью, к которой крепится сменный захват, проходит через прорезь в вертикальной пово-



ротной колонке. Рука имеет три степени подвижности, три управляемых движения: два поступательных — относительно колонны — вдоль и поперек ее оси, и одно вращательное — вместе с колонной. Еще два движения имеет кисть в «лучезапястном» суставе. Шестое движение — открытие-закрытие захвата. Поступательные перемещения рука совершает в пределах 0,75 метра, допустимый поворот колонны — 240 градусов.

Робот «версатран» выпускается в двух вариантах, отличающихся способами программирования и, как следствие этого, функциональными возможностями.

Один из вариантов предусматривает ручной набор программ с помощью специального программного барабана. Набор программы сводится к тому, что включается специальное ручное управление. С помощью отдельного блока, содержащего три вращающиеся ручки, «обучающий» последовательно переводит механическую руку из одной нужной позиции в другую.

Положение руки в каждой позиции «запоминается» в одной из «строк», с помощью специальных штырьков, имеющихся на барабане. Программный барабан при переходе руки из одной позиции в следующую поворачивается на одну строку. Так одно за другим запоминаются последовательные положения руки, строится программа полного цикла ее движения. На этом процесс обучения заканчивается.

При автоматическом воспроизведении программы нажимом кнопки приводится во вращение программный барабан, штырьки последовательно включают приводы, обеспечивающие движения руки в соответствующих направлениях.

Описанный только что вариант управления роботом «версатран» подобен устройству кнопочной системы ручного управления. Разница только в том, что здесь человек только один раз, в процессе обучения робота, «нажимает кнопки» в строках программного барабана, вводя всю программу, а затем эту программу робот может многократно воспроизвести в автоматическом режиме. При этом, как и в системе кнопочного управления, программа управляет только включением и выключением приводов; скорости руки программой не задаются. Такие системы управления называют позиционными.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

Второй вариант управления роботом «версатран» существенно отличается от первого. Принцип его легко понять, вспомнив устройство магнитофона; оно позволяет с помощью микрофона записать на движущуюся магнитную ленту любую мелодию, а затем воспроизвести эту мелодию с помощью динамика.

Звук на магнитной ленте «запоминается» в форме невидимых глазу магнитных меток. В точно такой же форме на магнитной ленте можно «запомнить» перемещения руки. Каждому из управляемых движений робота можно отвести на магнитной ленте отдельную «строку», причем сигналы в этой строке могут управлять не только включениями и выключениями соответствующего привода, но и скоростью движения руки по этому направлению.

У захвата робота имеется дополнительная рукоятка, предназначенная специально для целей обучения. Руку переводят на «ручное управление». Оператор включает магнитофон на запись программы и начинает двигать захват, воспроизводя все движения, которые должен будет потом повторять робот. Движения захвата то замедляются, то ускоряются, соответственно замедляется и ускоряется работа приводов, все эти изменения регистрируются на магнитной ленте. Цикл обучения на этом кончается.

Затем оператор переключает робот на автоматический режим. С этого момента магнитная лента — результат обучения робота — становится программой его работы.

Систему управления, обеспечивающую возможность произвольно менять скорости движения руки на протяжении всего рабочего цикла, называют системой непрерывного, или контурного, управления.

Позиционная и непрерывная системы составляют два основных типа систем, используемых при создании промышленных роботов. Обучать роботов можно либо так, как мы только сейчас рассказали, то есть вручную отрабатывая всю программу и заставляя робот запомнить ее в той или другой форме, либо можно рассчитать программу, используя необходимую технологическую информацию, и внести непосредственно в память робота, не моделируя ее в форме движений захвата. Для этого

также существуют самые различные способы и устройства.

Семейство «бесчувственных» роботов растет. 3500 роботов, которые, по подсчетам специалистов, работали в 1975 году на производстве, — это не 3500 «версатранов». Это многие десятки самых различных типов, вариантов, конструкций роботов и систем управления ими: американские роботы «юнимейт», «тралфа», «велдотрон», «трансива», «мобилити», «флексимен» и другие; японские роботы фирм «Синко Дэнки», «Курода», «Мицубиси», «Фудзикоси», «Аида», «Токио Кэйки» и т. д.; английские роботы «минитрэн», «минимэн», «машеми»; роботы шведские и др. Все они разные, несмотря на то, что все они обладают специфическими, характерными только для роботов свойствами.

Проблемой создания и внедрения промышленных роботов заняты также и советские ученые и инженеры. Они начали заниматься этим еще в 60-х годах, и в результате ими уже создано много опытных образцов. В числе первых — роботы универсального назначения УМ-1, «Универсал-50», УПК-1. Проблемам робототехники, обещающей освободить человека от утомительного, однообразного, вредного труда, в нашей стране уделяют особое внимание.

Роботы первого поколения сегодня переживают один из самых ответственных периодов своего существования — период внедрения, период «естественного отбора». Идет жестокий отбор их конструкций, причем критерии, по которым он производится, разнообразны и многочисленны — стоимость и универсальность, грузоподъемность и габариты, объем обслуживания и удобство программирования, и, конечно, два чрезвычайно важных критерия, характеризующих точность и быстроту их действия.

Точность и быстрота — основа качества и производительности любого труда — ручного, механизированного, автоматизированного.

Нормы времени и нормы точности в той или иной форме содержатся в любом задании, которое выдается человеку, участвующему в процессе производства, будь то оператор у конвейера, рабочий у станка, электромонтажник или редактор. Эти нормы нисколько не противоречат естественному человеческому свойству работать каждому по-своему — как ему удобнее, при-

вычнее. Производственные нормы не подавляют человеческой индивидуальности, они лишь согласовывают миллионы индивидуальностей, позволяют их соразмерить, правильно оценить, обеспечивают коллективность действий.

Коллективные действия, как и коллективные решения, не есть простая сумма множества в точности одинаковых индивидуальных действий. Это намного сложнее. Это результат множества во многом отличающихся действий, по-разному направленных на достижение одной и той же цели, одного и того же результата. Чем сложнее процесс, который необходимо оценить, тем острее необходимость в точных критериях его оценки.

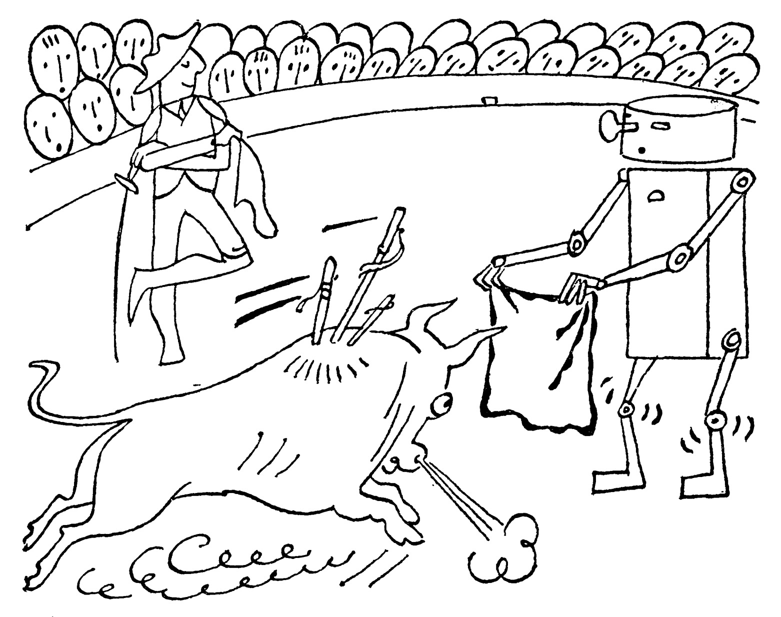
Точность и производительность — два ключевых критерия, по которым оцениваются главные качества подавляющего большинства новых машин, автоматов, любого производственного оборудования. Эти критерии используют не только для оценки результатов труда человека, но и для оценки результатов работы машины.

Значит, когда речь идет о замене у конвейеров, станков, машин коллектива людей комплексом роботов, наличие количественных критериев, в том числе критериев точности и производительности, позволяет оценить эффективность такой замены.

Но, конечно, в полном объеме такая оценка приобретает смысл, когда роботы заменят десятки и сотни тысяч людей, когда они массами будут работать на производстве. Только тогда можно будет надежно оценить и технические, и экономические, и социальные последствия роботизации производства.

А пока идет первый и самый сложный этап внедрения. Он включает не только естественный отбор конструкций роботов, сопровождающийся «межвидовой борьбой» — конкуренцией, соревнованием. Он включает еще и «естественный отбор» технологических процессов, выявление тех из них, которые следует роботизировать сначала, тех, с роботизацией которых торопиться не следует, и тех, которые сегодня вообще не поддаются роботизации, хотя это крайне необходимо.

Роботов приспосабливают для загрузки и выгрузки заготовок и изделий, очистки деталей, сварки и окраски, обслуживания технологических процессов штамповки, литья, прессования, множества других самых разнообразных процессов. А технологические процессы приспо-



сабливают к выполнению их роботами, к их роботизации. Этап внедрения диктует необходимость быстро и надежно формулировать новые требования к конструкциям машин, станков, оборудования и новые требования ко все новым и новым конструкциям роботов первого поколения, и не только к ним, но и к роботам ближайшего будущего, которые должны будут обладать более широкими функциональными свойствами, более высокой квалификацией.

При программировании «бесчувственного» робота подразумевается, что он работает в строго определенных условиях, касающихся не только его, но и внешнего мира, с которым он взаимодействует; имеется в виду, например, что заготовки, грузы и изделия, которые он должен брать, всегда оказываются на одном и том же месте, что там, куда он их должен ставить или класть, всегда будет свободное пространство и т. п. Иначе он и не может работать, поскольку его взаимодействие с внешним миром носит односторонний характер: вся информация, которую несет программа, направлена из центра на периферию, с пульта управления к механической руке, а извне в процессе работы он никакой инфор-

мации не получает. Правда, каждое из своих движений робот выполняет по замкнутой схеме, по схеме с обратной связью, но эта обратная связь укороченная, она замыкается внутри системы, не охватывает среду «обитания» робота, его рабочее пространство.

В результате получается, что самые небольшие изменения в окружающем мире могут моментально сделать робот непригодным к работе, вывести из строя. Разве можно мириться с такими ограничениями, с такой «уязвимостью» квалифицированной машины? Разве не являются естественными желания и стремления сделать робот по возможности более надежным? Но для этого его надо сделать «умнее».

Современный промышленный робот, механическая рука, управляемая программным барабаном, перфорированной или магнитной лентой, по своей мощности и неутомимости действительно превосходят человеческие возможности. Но неутомимость, сила, разнообразие движений — это ведь черты, характеризующие главным образом механические свойства системы.

Маленькому ребенку можно поручить собрать в коробку кубики, разбросанные по полу. Может быть, он выполнит это задание не самым экономичным образом, совершая много лишних движений, двигаясь не по самой короткой траектории сбора кубиков. Но ребенку достаточно указать только цель, а программу действий он выработает сам в процессе достижения этой цели.

Задачу собрать кубики можно поручить «версатрану». Если точно указать число и расположение кубиков, а также положение коробки, то он с этой задачей справится лучше ребенка. Но вот если коробки и кубиков не окажется на месте, «версатран» на это не обратит внимания: он соберет все кубики и сложит их там, где должна быть коробка, либо соберет в коробку не все кубики. Вы понимаете, насколько важно и полезно для многих практических нужд сделать робот поумнее, и еще умнее, и еще?

ЗА РАБОТОЙ

Конечно, интеллектуальные качества роботов первого поколения не вызывают особого восхищения. Но давайте посмотрим, как выглядит этот «бесчувственный» автомат в работе...

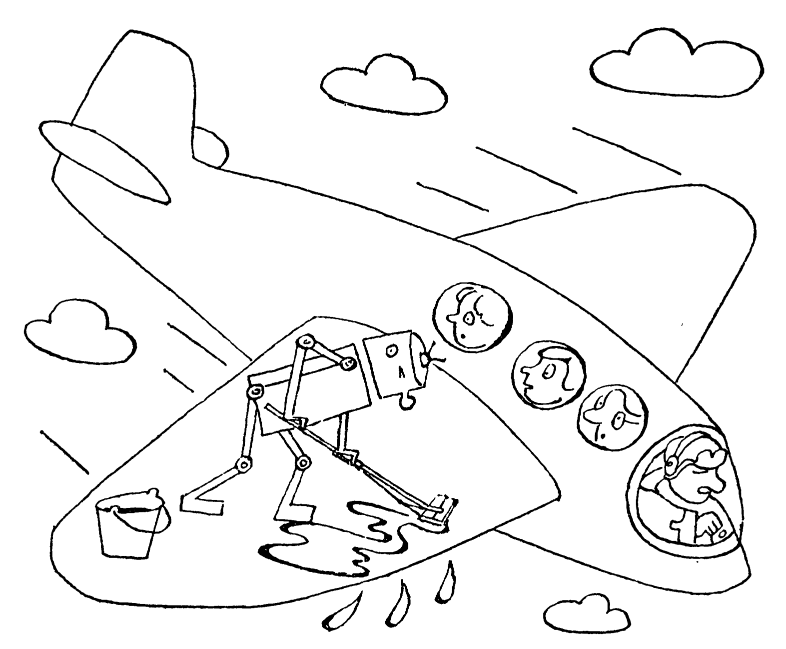
Казалось бы, несложная деталь — ступенчатый валик, тем более что заготовка для него уже готова. А все-таки: надо проточить его поверху так, чтобы образовалась ступенька. На этой ступеньке надо снять лыску, один из концов валика засверлить, закалить, а второй торец прошлифовать.

Необходимое для выполнения этих операций оборудование расставлено по кругу. Вот токарный станок, вот фрезерный, сверлильный, устройство для закалки токами высокой частоты, шлифовальный станок. У токарного станка специальный магазин, где в порядке, одна за другой, лежат заготовки, а у шлифовального станка — наклонный желоб. С виду оборудование совсем обычное, но станочников нет.

Одно из мест в круге занимает пульт управления. А в центре круга — робот. Его механическая рука имеет своеобразную структуру. На массивной раме укреплена конструкция, напоминающая орудийную турель. Она может вращаться по кругу и, кроме того, менять угол подъема по отношению к горизонтали. Из турели высовывается ствол. На этом сходство с пушкой заканчивается. Ствол на конце несет подвижный захват, состоящий как бы из двух пальцев. Это советский промробот — «Универсал-50».

Станем в стороне и последим за тем, что происходит на этом участке. На токарном станке сейчас обтачивается очередной валик. На фрезерном станке обработка лыски скоро подойдет к концу, а сверло свою операцию уже заканчивает. В это время турель нацелена на закалочное устройство, ствол из нее выдвигается и поворачивается так, что захват оказывается над концом валика, высовывающегося из приспособления для закалки. Теперь начинает двигаться захват, пальцы открываются, хватают валик, все звенья этой механической руки опять приходят в движение и аккуратно переставляют деталь в зажимное приспособление шлифовального станка. Сработали зажимные электромагниты, и шлифовальный круг двинулся на валик.

С момента, когда мы начали свое наблюдение, прошло времени меньше, чем вам потребовалось, чтобы прочитать две предыдущие фразы. А рука успела повернуться к сверлильному станку, снять просверленный валик, установить его в закалочное приспособление и повернуться к фрезерному станку. Фреза закончила



свою работу, разжалось приспособление, пальцы руки подхватили валик, перенесли его в оправку сверлильного станка, и рука отправилась в первую позицию, сняла обточенный валик с токарного станка, установила его на фрезерный станок, вынула из магазина очередную заготовку, «зарядила» токарный станок, затем отправилась мимо пульта управления к шлифовальному станку, уже дожидающемуся ее, сняла полностью обработанный валик, уложила его на наклонный желоб и повернулась к закалочному приспособлению...

В каждой рабочей позиции валик закреплен по-разному, на разной высоте, под разными углами, и каждый раз рука движется именно так, как требуется в том или другом случае, аккуратно берет пальцами валик за валиком, переносит их из одной позиции в другую, поворачивает и устанавливает, выходит в безопасное положение и опять движется.

Нет, конструктивно она непохожа на руку человека, и турель, на которой она укреплена, непохожа на туловище человека, и нет у этого механического создания ног, а его «голова» — пульт, откуда поступают все команды, стоит в стороне. В общем, никакого внешнего

человекоподобия нет! И вместе с тем, если бы вас спросили, как, по-вашему, называется эта машина, то вы, не задумываясь, ответили бы: «Робот».

Уж очень «по-человечески», разумно она действует. По крайней мере, производит такое впечатление. Вы бы стояли около нее десятки минут, поняли бы порядок ее действия, в уме подсказывали бы, что ей нужно делать, беспокоились, как бы она рукой не задела что-нибудь по дороге, и каждый раз убеждались бы, что она все делает правильно, именно так, как сделали бы вы, если бы поменялись с ней местами. И чем больше рассказов А. Азимова, С. Лема и других фантастов, рассказов, героями которых являются роботы, вы прочли, тем увереннее назовете роботом машину, которую сейчас видели. Это естественно. Даже не будучи специалистом, интуитивно понимаете, что она, наверное, может делать не только то, что видели, но и многое другое, выполнять разные другие движения и действия, работать вместо человека, работая почти по-человечески.

Да, что по-человечески! В некоторых отношениях она больше напоминает сверхчеловека! Никакой спешки и ни одного, буквально ни одного лишнего движения! Ни на одну секунду не прекращается работа, ни для того, чтобы перекурить, передохнуть, обменяться несколькими словами с соседом, ни для того, чтобы пообедать. У нее железные нервы, и она совершенно одинаково работает в понедельник и пятницу, в начале и в конце своей обычной смены, продолжающейся 16 часов.

Стойте, смотрите, любуйтесь, не стесняйтесь! Вы здесь не одни, кругом толпа. И далеко не все здесь специалисты! А специалистами руководят при этом не одни только деловые соображения. Они, кстати, тоже любуются, получают эстетическое удовлетворение. Герои произведений инженерного искусства, созданные талантом рабочих, конструкторов, ученых, впечатляют не меньше, чем герои литературных произведений, созданных талантливыми писателями. Даже если эти герои — результат только еще «первой пробы пера».

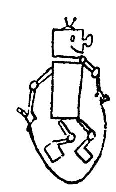
Робототехника началась с попыток человека проникнуть туда, куда он проникнуть никак не может, — в атом, в океан, в космос. Тогда он придумал послать туда свою «копию». Но, создавая множество самых различных полуроботов, он всегда оставлял за собой функции управления. Полуроботом управляет человек — его

разум. Это естественно. Атомная лаборатория, а тем более океан или космос — не те места, где легко организовать все то, с чем приходится там иметь дело, упорядочить до такого уровня, чтобы можно было уложить в строгие «логики» автомата полную программу его работы. Копирующие системы — вот один полюс робототехники, на котором все делается по-человечески.

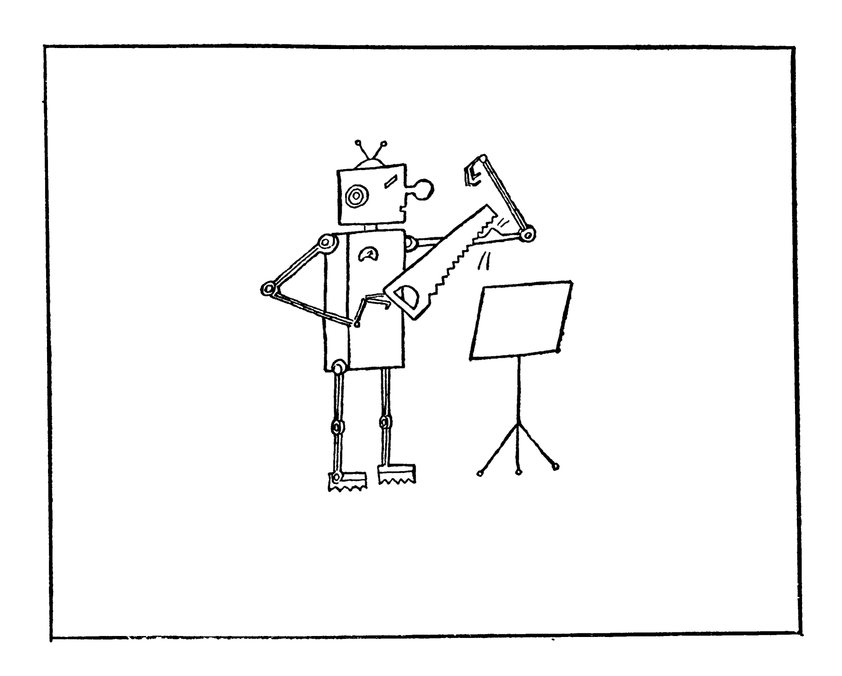
А на другом полюсе — роботы первого поколения, бесчувственные автоматы, которые «железно» следуют наперед заданной программе, которыми управляет простая внутренняя логика, согласованная со специально организованными местом и процессом работы.

Несомненно, что между этими двумя крайними представителями робототехники должны появиться другие. Ну, например, такие, какие не нуждаются в непрерывном участии человека в их работе, умеющие автоматически работать на рабочих местах, организованных не на все 100 процентов.

Мы, конечно, понимаем, что настоящие человеческие чувства не уложишь в железную логику автомата. Но ведь логика, пусть самая железная, не обязательно должна быть самой простой. ЭВМ решают такие сложные задачи, требующие логических построений такой сложности, с какими ни один естественный интеллект не может управиться. Так разве есть основания сомневаться в том, что можно построить логику, которая бы делала примерно то же самое, что делает тот или иной механизм естественного интеллекта? Пусть такой железный интеллект делает свое дело не так, как его делает естественный. Пусть! Тем более что мы вообще еще не проникли во многие тайны естественного интеллекта и не знаем в точности, как построены и работают его механизмы.



ЖЕЛЕЗНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ



ЕЩЕ О МЕХАНИЗМАХ ИНТЕЛЛЕКТА

Помните девушку, которая пришла с приятелем в компанию? Помните, как она быстро ориентировалась в многолюдном обществе, здоровалась со знакомыми, узнавала мало знакомых, почти забытых, о которых уже давно даже не вспоминала, и знакомилась с чужими ей людьми?

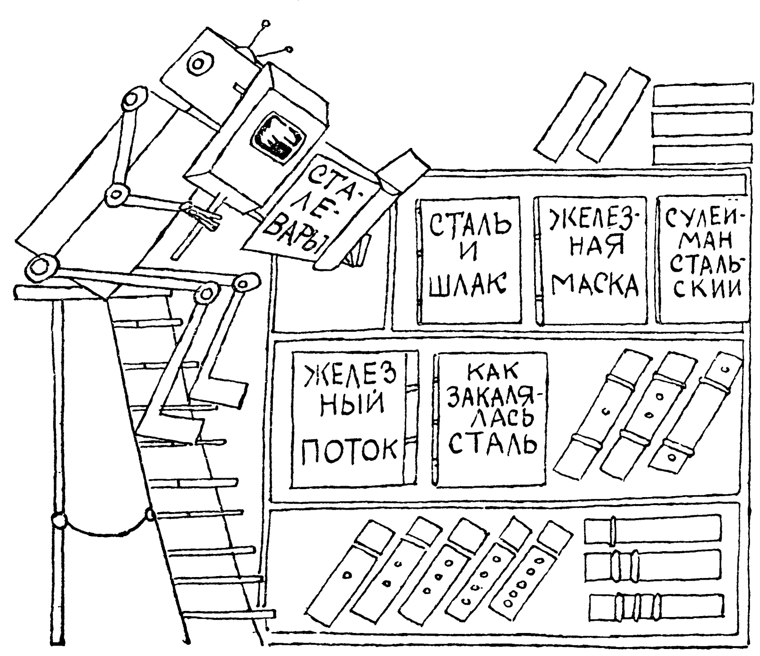
Как это ей удавалось так быстро и уверенно отличать мало знакомых от совершенно чужих? По каким таким признакам?

Как-то один ученый «средней известности» на следующий день после 10-минутного выступления в программе телевидения зашел в овощной магазин по соседству с домом. Он заходил в этот магазин и раньше, но не настолько часто, чтобы приобрести там какую-либо особую популярность. Тем не менее продавщица, отвесив ему полкилограмма изюма, заметила: «А вчера вы были

в галстуке». На недоуменный вопрос: «А где я был вчера?» — она ответила: «Вы вчера выступали по телевизору перед очень интересным фильмом. Мы по ошибке включили телевизор на 15 минут раньше времени».

Как девушка из компании, продавщица из овощного магазина, как вы сами узнаете почти незнакомых людей, с которыми встречались где-то, когда-то, подчас, один-два раза в жизни? Вы не можете вспомнить имени, отчества или фамилии, обстоятельств, при которых произошла встреча, но одно вам ясно — этого человека вы видели.

Конечно же, вы его узнали не по форме головы, не по цвету глаз, не по размерам мочек ушей. Об этих подробностях, каждой по отдельности и всех в совокупности, у вас сохранились самые смутные представления, но их оказалось достаточно, чтобы уверенно сказать: «Я его видел, хотя понятия не имею, где именно», не умея объяснить, на чем зиждется такая уверенность. Оказывается, это действует механизм интеллекта, выполняющий задачу распознавания образов. Его



возможности удивительны. Вы распознаете знакомого человека на расстоянии, на котором не можете видеть его лица, распознаете по походке, по позе, по звукам голоса. Различаете двух собак одной породы, вареную колбасу разных сортов, умеете прочитать письмо, написанное каракулями или очень неразборчивой скорописью, причем все это делаете очень быстро.

Процесс распознавания занимает доли секунды, он реализуется буквально на ходу. Можете двигаться вы или распознаваемый предмет, объект, прохожий — все равно взгляд почти сразу отличает знакомое от незнакомого, видит, чем отличается одно незнакомое от другого. Естественный механизм распознавания действует непрерывно; человек, хочет он того или нет, непрерывно его тренирует — это один из важнейших механизмов интеллекта, который активно используется человеком в процессе трудовой деятельности.

Когда вы посылаете в магазин за кефиром десятилетнего джентльмена, он крайне раздраженно реагирует на любые попытки подать ему полезный совет на тему, как наилучшим образом выполнить это поручение. Он все знает сам и сам спланирует, что и как ему нужно сделать. Он знает, что, спускаясь по лестнице, нельзя прыгать через две ступеньки, поскольку можно разбить пустые бутылки и порезаться, что, переходя улицу, нужно дождаться разрешающего сигнала светофора и смотреть сначала налево, а потом направо, что нужно сначала сдать порожнюю посуду, а сдачу проверять, не отходя от кассы. Ему достаточно получить задание — все дальнейшие движения и действия он спланирует сам, первый раз, может быть, похуже, а в последующие — лучше; и траектории этих движений, и моменты остановок, и усилия, необходимые, чтобы нести пустые бутылки и бутылки с кефиром.

Он сам примет решение, в какую кассу стать, где короче очередь, решит, пройти ли мимо газетного киоска, где выставлены новые марки для коллекции, или сразу пересечь улицу и поглядеть на витрины книжного магазина, — одним словом, всю гигантскую программу 15—20-минутного трудового процесса он разработает «вдвоем» со своим «механизмом планирования и принятия решений» — другим важным механизмом интел-

лекта. Ему ведь уже десять лет. Он уже три года учится в школе, он ходит сам через улицу, он умеет читать и считать и иногда спускается по лестнице, не прыгая сразу через две ступеньки, он самостоятельно с утра до вечера принимает множество самых разных, важных решений, начиная с того, вставать ли сразу, когда его будят, или попытаться еще немножко поваляться в кровати.

Да, но ведь поручение сходить за кефиром он получил впервые. Что помогает ему спланировать программу выполнения этого задания? Ведь если попытаться представить себе, какую массу разных движений и действий ему придется выполнить, какое множество решений принять, то даже такое кажущееся простым задание будет выглядеть как чрезвычайно сложное, а короткое указание «Сходи, пожалуйста, за кефиром» предстанет лишь как смутный намек на то, что же в действительности нужно джентльмену сделать!

Возбужденный карапуз на полной скорости семенит в воду по отлогому берегу озера.

Обеспокоенная его смелостью мать кричит: «Федя, не лезь в озеро, вода еще очень холодная!»

В ответ слышится восторженный вопль: «Ничего, мама, не бойся, она уже остыла!»

Мама и весь берег расцветают улыбками. Почему? Да потому, что всем все понятно. Понятно, что мальчик ошибся, сказал не то, что думал; понятно, что он думал сказать; и даже понятно, почему он сказал не то, что хотел. И каждый из тех, кто был на берегу, видел, что не только он, но и все другие все поняли.

А вы? Мы уверены, что вы тоже все поняли. Ведь вы по сравнению с карапузом прошли уже больший отрезок жизненного пути, не однажды пробовали слишком горячую кашу, дотрагивались до горячей кастрюли, вас не раз учили не трогать утюг.

Забавное происшествие на берегу мгновенно всколыхнуло вашу память и по ассоциации вызвало ряд чем-то похожих воспоминаний и представлений, как-то отражающих ваш личный опыт общения с горячими и холодными предметами и средами. И то, что весь берег расцвел улыбками, вас нисколько не удивило. Каждый в свое время обжигался горячей кашей и испытывал

удовольствие от купанья в холодной воде. Вот и неудивительно, что всем все ясно!

В то самое время, когда вы в уме объясняете себе, почему вам и всем на берегу все понятно, действует еще один механизм человеческого интеллекта — механизм так называемой ассоциативной памяти, который выстраивает неупорядоченные смутные кадры, вызванные из памяти диалогом мамы с карапузом, в стройную понятную «короткометражку».

Кстати, вы поняли, что мы имели в виду, говоря «берег расцвел улыбками»? Как это берег может расцвести? И вообще, как это можно цвести улыбкой?

Не один читатель, наверное, в этом месте поморщился: что, мол, за вольности такие, какая литературная отсебятина ученых мужей. И действительно, это предложение, если пытаться прочитать его прямолинейно, формально (вы понимаете, что мы имеем в виду), дает очень смутное представление о береге озера в летнее утро, о многочисленных свидетелях короткого диалога. Поморщился, но понял! Потому что действуют обычные механизмы интеллекта, обусловливающие образность, выразительность, краткость речи в общении людей между собой. В том числе механизмы распознавания образов, планирования и принятия решений, ассоциативной памяти.

То, что мы так четко их перечислили, не должно вас путать. Это не три отдельных механизма, это просто еще три грани человеческого разума, управляющего всеми нашими движениями, действиями и поступками, еще три функции человеческого мозга — материальной основы разума.

Вероятно, они всегда действуют совместно. Девушка, смутно распознавая знакомого, вынуждена покопаться в памяти, принять решение (да, я его знаю!) и спланировать свое поведение, встретив его взгляд, — приветливо улыбнуться. И всю эту процедуру, которая в действительности заняла время меньшее, чем нужно, чтобы прочитать этот абзац, конечно, нельзя разбить на сколько-нибудь четкие этапы.

Изучением механизмов интеллекта занимается психология — наука о функциях мозга, связанных с психической деятельностью человека, с ощущениями и восприятиями им явлений внешнего мира, с формированием представлений, с процессами мышления.

Это как раз тот самый круг вопросов, который нас сейчас интересует. Так вот, если вы спросите у психолога: как удавалось молодой девушке и юному джентльмену решать задачи распознавания, планирования, принятия решения? какими приемами и методами они при этом пользовались? — он, не задумываясь, ответит: эвристическими.

«Эврика!» — воскликнули: Архимед, открыв свой закон; «Молодая гвардия», придумав название для серии книг о науке в пестрых обложках, и многие другие открыватели и изобретатели.

Эвристика — красивое греческое слово, в переводе означающее «нахождение». Как видите, если это слово использовать в его точном значении, то ответ психолога нам может показаться несколько странным. Получается, что девушка и джентльмен решали все эти задачи, находя их решения? Но, наверное, вы уже догадываетесь, что это слово может иметь другое, не такое точное значение, может характеризовать другое понятие — смутно очерченное, но понятное человеку, который натренирован в непрерывном жонглировании такими понятиями.

С четверть века тому назад, в самый разгар «кибернетической горячки», складывалось мнение о том, что создание мыслящих машин — дело близкого будущего. Именно тогда были сформулированы задачи программирования перевода с одного языка на другой, распознавания образов, доказательств теорем, игр в шашки и шахматы и др. Другими словами, были сформулированы задачи программирования таких процессов, которые ранее относили к категории чисто человеческих, интеллектуальных, творческих. Дело не ограничилось только формулированием подобных задач; были предложены новые подходы и идеи решения этих задач, получены первые интересные результаты.

Однако затем темп продвижения вперед резко замедлился. Машинный перевод с языка на язык возможен, но он пока груб и неточен, требует человеческого редактирования. Стихи, сочиненные машиной, не представляют художественной ценности. А что касается, например, того, чтобы создать программу, которая могла бы отличить Азу Лихитченко от Евгения Суслова — дикторов телевидения, обычно ведущих программу «Время», то об этом не было речи 25 лет назад, не

заикаются об этом сегодня, и вряд ли это будет возможно в обозримом будущем.

Почему так затормозилось создание «настоящего» искусственного разума? Совсем не потому, что человек принципиально не может проникнуть в тайны собственного мозга, а проникнув в них, никогда не сумеет описать эти разгаданные тайны, достаточно глубоко изучить тот или иной механизм интеллекта, построить его модель, воспроизвести его действие! Ведь мы точно знаем, что границ человеческому познанию нет!

Вы, наверное, пробовали заглядывать внутрь телевизора, туда, где расположены все его коммуникации. Сотни проводов и проволочек в самых различных сочетаниях и переплетениях соединяют десятки электронных ламп и сотни других элементов, образуя сложнейшую перепутаницу, в которой неопытный взгляд не может обнаружить никакой закономерности, никакого смысла.

А теперь представьте себе, что размеры ящика, в котором помещается прибор, в десятки раз уменьшены, число его элементов вместо нескольких сотен штук достигает десятков миллиардов, количество проводов, проволочек и паек исчисляется тысячами миллиардов; причем все они окрашены в одинаковый цвет и разглядеть их можно только через микроскоп. Добавьте к этому, что никто вам не может точно сказать, с чем вы имеете дело: с телевизором, с вычислительным автоматом, с генератором идей и изобретений или с прибором для сочинения стихов или заявлений.

Учтите также, что ни в одной книжке (даже из числа тех, в которых, как дважды два — четыре, ясно доказано, что машина умнее человека) вы не найдете самого слабого намека на монтажную схему этого устройства (не говоря уже о том, что ни один владелец, как бы хорошо он к вам ни относился, ни за что не позволит вам его вскрыть из чистого любопытства).

Вот, примерно, те трудности, что возникают перед учеными, изучающими мозг человека, его нервную систему.

Не тонкий череп, а глухая стена противостоит каждой попытке продвинуться вперед. А если удается с превеликими трудами попытка на каком-то участке пробиться сквозь нее, то за этой стеной оказывается совсем небольшое свободное пространство, а за ним еще более

глухая стена. Вот почему дело так медленно движется вперед!

Но движется! Одним из действенных инструментов этого продвижения являются эвристические методы. В их основе — глубокое изучение внешних проявлений интеллектуальной деятельности человека, наблюдение за тем, как он решает те или иные задачи, какие общие закономерности при этом действуют, попытки описать, пусть приблизительно, грубо, эти закономерности, применить их для решения самых простых задач, включающих самые элементарные интеллектуальные процедуры.

До понимания и тем более моделирования более сложных механизмов дело пока не дошло. Современная эвристика не говорит ни слова о постановке разумных целей и задач, о мотивах и движущих силах тех или иных действий и движений. Считается, что на одном из высших уровней смутные намерения, нечетко очерченные пожелания, вроде такого: «Что бы такое нужное мне сейчас сделать?» — превращаются (непонятно как!) в четко сформулированную задачу: «Надо взять заготовку, установить ее на станок, включить станок и т. д. и т. п.». А кроме того, считаются заданными все необходимые условия ее решения. Этих условий много, они все разные и определяются тем, насколько хорошо или плохо организована среда, в пределах которой задача должна быть решена, какие дополнительные действия и движения надо совершить, прежде чем перейти к ее непосредственному решению, и как их совершить наилучшим, как говорят, оптимальным образом.

ОПТИМИЗАЦИЯ

Некогда жареные пирожки продавались в булочных. Там они горячими хранились в большом металлическом оцинкованном ящике. Пять копеек пара пирожков — такова была цена невыразимого наслаждения. Но, как известно, счастье никогда не бывает полным, даже если вам ужасно повезло и вы стали обладателем пятака.

Целый пятак! Вот повезло так повезло! Зажав его в кулак, вы галопом мчитесь в булочную. Однако по мере приближения к цели возникает и начинает разрастаться проблема выбора. Внутрь вы входите медленным шагом и не спеша становитесь в короткую очередь,

которая движется слишком быстро, не оставляя времени для размышлений.

Все дело в том, что в те времена пирожки имелись в широком ассортименте: с мясом и с повидлом, с капустой и с яблоками, с рисом и с творогом. Они были горячие и очень красивые, а главное, у кого бы из друзей ни спросили: «Какой пирожок вкуснее?» — ответ был всегда один и тот же: «Все вкуснее!» А за пять копеек можно получить лишь одну пару.

Конечно, если бы пятаки выдавались по желанию, то все было бы просто; а так, по внешнему виду, по запаху, по тому удовольствию, с каким их едят многочисленные счастливцы, или, наконец, по собственным отрывочным воспоминаниям, сохранившимся с давних пор (неделя, или месяц, или год прошел — не вспомнить!), этого вопроса не решить.

«Какой жадный мальчик! Никак не может расстаться с монетой», — раздается сзади брюзжащий голос.

Если бы сзади стоял кто-нибудь из тех, кто любит при каждом случае подавать советы, то он бы сказал: «Что ты задумался, мальчик? Купи шесть пирожков, по одному пирожку каждого сорта, попробуй их, и все будет ясно!» Откуда ему было знать. что за монетка была зажата в кулаке и при каких обстоятельствах она мальчику досталась. Он ничего этого не знал, и ему очень просто было советовать.

Вот если бы в очереди нашелся кибернетик, то он сразу бы понял, в чем дело. Он бы всем объяснил, что мальчик решает очень сложную задачу — задачу оптимизации, выбора наилучшего набора пирожков из множества возможных вариантов, или, как он сказал бы, альтернатив.

Он бы растолковал очереди, что число альтернатив в данном случае зависит от ассортимента пирожков и от того, сколько штук собирается купить мальчик. И, пошевелив губами и прикрыв на минуту глаза, быстро и точно подсчитал бы, что если мальчик собирается купить шесть пирожков, а пирожки продаются шести сортов, то получается больше четырехсот альтернатив. И даже если мальчик собирается купить всего лишь пару пирожков, то и тогда ему предстоит рассмотреть двадцать один вариант такой покупки.

Отсюда ясно, он бы сказал, что предложение предыдущего оратора — купить сразу шесть пирожков —

вроде бы формально является надежным способом нахождения оптимального решения, но поскольку требует полного перебора, то оказывается практически неприемлемым в силу большого числа альтернатив.

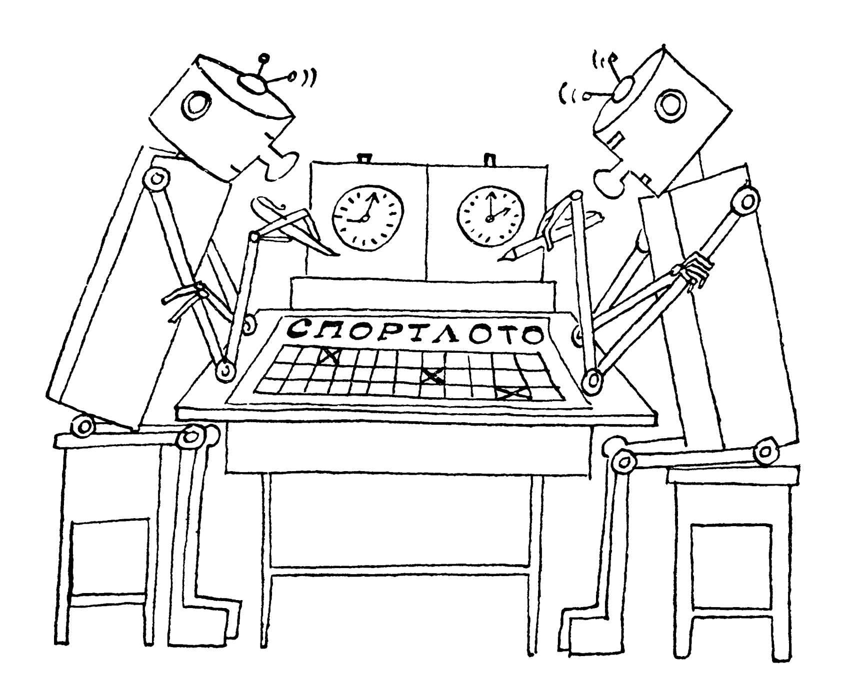
Затем он успокоил бы очередь, сказав, что для отыскания оптимальных решений существуют специальные методы математического программирования, и, погладив мальчика по голове (чего обычно мальчики не любят), посоветовал бы ему хорошо учиться и стать кибернетиком. Но, предупредил бы он очередь, применять эти методы можно, только если известна строгая постановка задачи. А строгая постановка включает очень много: нужно точно знать так называемую целевую функцию, знать набор переменных, по которым строится эта функция, знать ограничения, наложенные на эти переменные. Он лично в качестве набора переменных назначил бы весь ассортимент пирожков. Если бы, скажем, в ящике оказалось в наличии всего лишь два пирожка с повидлом и пусть сколько угодно остальных, то, с его точки зрения, это было бы примером серьезного ограничения, наложенного на одну из переменных. Ограничения также могли бы возникнуть при нехватке мелких денег, но этот вариант он не рассматривает.

Сложнее всего, ему кажется, обстоит дело с формированием целевой функции, которая должна строго оговаривать, как мальчик оценивает достоинства различных пирожков и зачем хочет их приобрести. К сожалению, он, кибернетик, этого как раз не знает, об этом надо спросить непосредственно мальчика.

Что касается его лично, то он решил эту задачу оптимизации для себя еще до того, как стал кибернетиком. Лично он ест только пирожки с повидлом и уверен, что три пирожка являются для каждого интеллигентного человека оптимальным вариантом (многократно проверенным) в тех случаях, когда целевая функция характеризует желание легко перекусить на ходу.

Если бы в очереди за пирожками стоял кибернетик, то он, вероятно, мог бы рассказать еще много интересного о задачах оптимизации. Но в те годы совершенно не было кибернетиков. А в очереди стоял просто старый брюзга, который, остро завидуя аппетиту и возрасту мальчика, повторил: «Какой жадный! Цепляется за свою монетку!»

Каждый человек по одинаковым правилам решает



задачи по алгебре и геометрии, физике и химии, все другие задачи, для решения которых существуют формальные правила, конечно, при условии, что его учили этим правилам и он их хорошо помнит и понимает. Однако задачи, для решения которых есть правила, — это капля в море тех задач, какие приходится решать людям, не имея четких правил и руководств, в том числе задач, связанных с поиском оптимальных решений. Эти задачи каждый человек решает по-своему, руководствуясь своими собственными критериями оптимальности либо критериями, подсказанными ему коллективом, обществом, решает по-человечески, эвристически.

Это означает, что к решению задач привлекаются интуитивные соображения, опирающиеся на предшествующий опыт решения в чем-то сходных задач, на аналогии и не вполне осознанные ассоциации, являющиеся продуктом деятельности механизмов интеллекта, на объективные и субъективные оценки и критерии «затрат» и «выигрышей».

Человек изо всех сил «шевелит мозгами», решая интеллектуальные задачи самого различного характера.

Писатель, поэт и драматург, ученый, политик и дипломат, инженер, конструктор и технолог, редактор и модельер готового платья, одним словом, все, кто числится лицами умственного труда, стремятся выполнить свою работу оптимально, решают задачи оптимизации. А результат?

Каждый знает, насколько отличаются результаты деятельности разных людей при решении одних и тех же задач. Это потому, что «продукт» деятельности механизмов интеллекта сильно зависит от собственных свойств этих механизмов. Обычно их оценивают такими понятиями, как способность, талантливость, гениальность, изобретательность, инициативность, трудоспособность. Таких оценок множество, и сочетаются они каждый раз в таких различных пропорциях, что было бы очень странно, если бы вы в точности походили на вашего папу или кого-нибудь другого из четырех миллиардов человек, населяющих нашу планету. В силу этих удивительных свойств сын простого рыбака М. Ломоносов стал первым президентом Российской академии наук, Моцарт в пятилетнем возрасте сочинял музыку, а император Нерон, достав спички из кармана тоги, сжег, как говорят, свой родной город.

Что же касается критериев оптимальности, то и они применительно к деятельности человека могут формироваться самым различным образом. Наверное, про такие критерии оптимальности сочинена поговорка: «На вкус и на цвет товарища нет».

Кстати, чисто случайно мы знаем, какой набор пирожков выбрал мальчик, и можем объяснить, почему он его выбрал. Опыт научил его оценивать пищевые ощущения двумя критериями: сытно и вкусно; опыт и интеллект научили его понимать, что первый из этих критериев является решающим и в угоду ему надо жертвовать вторым. Проблема выбора его волновала чисто абстрактно, так, как может волновать владельца старого велосипеда нереальная мечта о новом автомобиле. Мальчик был рационалистом, он знал, что съест два пирожка с мясом, но ни старый брюзга, ни кибернетик не могли помешать ему на некоторое время стать мечтателем и заняться проблемой выбора.

Задачи оптимизации решают люди, они учат и машины решать эти задачи. Среди множества таких задач отдельное место занимают задачи оптимального

управления, в том числе управления движением. Последние по понятным причинам интересуют робототехников в первую очередь. Особенность таких задач состоит в том, что время, которое отпускается для их решения, ограничено. Как правило, за пределами этого времени самое хорошее решение теряет смысл.

ПЕРВЫЙ ОПЫТ

Переходя к рассказам об опытах создания роботов уже не бесчувственных, а «очувствленных», или «интеллектуальных», или интегральных, или роботов второго и других поколений (любое из этих названий вы можете встретить в научной, технической, популярной литературе, и все они, в конечном счете, означают одно и то же), мы умышленно еще раз вернулись к механизмам и свойствам естественного интеллекта, к способам и методам, которые он использует при решении любых задач, в том числе и двигательных.

«Очувствленный» робот должен быть оснащен системой искусственного интеллекта. Только при этом условии он может полезно использовать эффект очувствления. Мы надеемся, что вы теперь сами сумеете сопоставить достигнутый в этих опытах уровень «интеллектуальности» робота с уровнем естественной интеллектуальности, сами увидите, насколько пока далеки копии от оригинала. И не будете этому удивляться, представляя себе всю сложность задач робототехники. Не будете удивляться тому, что хотя со времени первых опытов прошло уже 15—20 лет, до сих пор еще не существует тех настоящих роботов, которых, может быть, рисует ваше воображение.

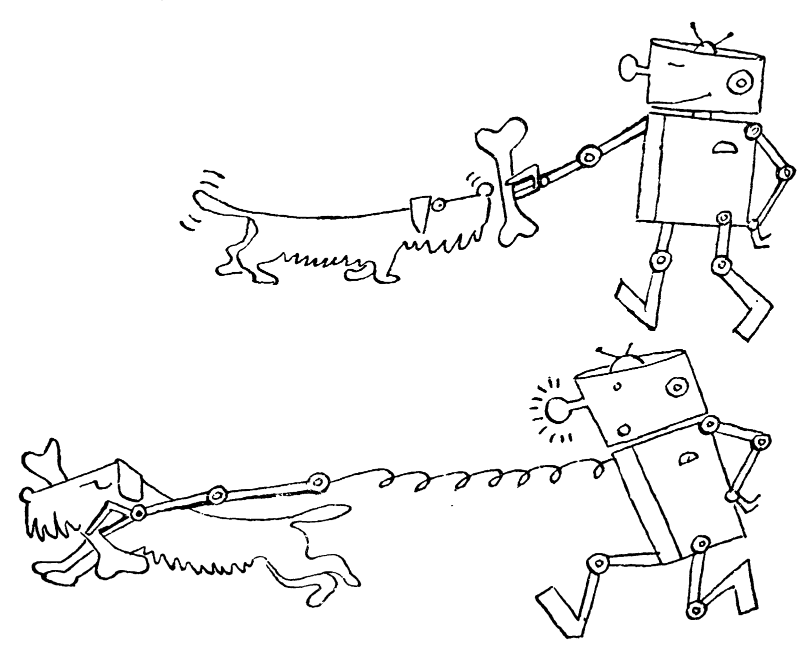
В системе искусственного интеллекта нет пока места смутным понятиям и эвристическим, человеческим методам. Все действия робота подчинены железной логике и строгим алгоритмам. Это первое условие, которому должен удовлетворять железный интеллект. И второе, очевидное, условие состоит в том, что требования, предъявляемые интеллекту робота, должны быть согласованы с возможностями его системы очувствления. А теперь примеры.

Еще в 1958 году два американских математика и инженера — К. Шеннон, изучавший, в частности, «поведение» механических животных, и М. Минский, специа-

лист в области так называемой интеллектроники, цель которой — создание систем искусственного интеллекта, предложили построить автоматическую руку, взяв исполнительный механизм обычного копирующего манипулятора, очувствив его каким-либо образом и приспособив для управления им ЭВМ вместо оператора.

За реализацию этой идеи под руководством ее авторов взялся Г. Эрнст, аспирант Массачусетского технологического института. В конце 1961 года родился первый «очувствленный» робот, построенный на базе обычного копирующего манипулятора. В роботе Г. Эрнста манипулятором управляет уже не оператор, а автоматическая система. По командам ЭВМ включаются, изменяют скорость и выключаются семь двигателей, по одному для каждой из семи степеней подвижности механической руки.

Задавая эти команды, управляющая ЭВМ руководствуется не только сигналами программы, но и информацией, которую она получает непосредственно от руки, оснащенной датчиками — механическими «органами чувств», призванными хотя бы в самом скромном объ-



еме заменить те естественные «датчики обратной связи», которые, объединяя в единую систему манипулятор с оператором, позволяли последнему наилучшим образом строить движения и дозировать усилия.

Рука Г. Эрнста оснащена двумя группами датчиков. Одну образуют датчики, установленные во всех подвижных сочленениях. Они посылают информацию о том, как выполняются сигналы, управляющие движениями руки. Это датчики внутренней обратной связи, действующей по обычной замкнутой схеме. В ней непрерывно сравниваются положения руки, которые задает управляющая машина, с положениями, которые рука занимает в действительности, и в соответствии с результатами сравнения ЭВМ непрерывно генерирует сигналы управления, устраняющие рассогласование, заставляя механическую руку занимать нужные положения и нужным образом менять их.

Вторая группа датчиков, очувствляющих руку, установлена на захвате. Именно эти датчики связывают ее с внешним миром.

Захват, как обычно, состоит из двух пальцев. Но теперь верхний, нижний и наружный торцы каждого пальца оснащены контактными датчиками, работающими в двоичном коде: включен — выключен. Эти датчики сигнализируют о том, что рука наткнулась на объект нерабочими участками. На внутреннем и передних торцах каждого пальца расположено еще по восемь датчиков. Они работают уже не в двоичном коде, а генерируют сигналы, величины которых пропорциональны силе нажатия на датчик. Шесть из них расположены на внутренних плоскостях захвата и генерируют информацию о том, какие части пальцев схватили объект и с какой силой его сжимают.

Два датчика, расположенные на передних торцах каждого из пальцев, регистрируют силу сопротивления движению захвата со стороны объекта. В случае, если рука с ним сталкивается в процессе движения, эти датчики позволяют получить информацию о протяженности и размерах этого объекта.

Таким образом, захват — его рабочие и нерабочие поверхности — снабжен подобием осязания и очувствлен по силе сжатия. Кроме того, на передних торцах пальцев между датчиками осязания помещено по «глазу» — фотоэлементу, реагирующему на затене-

ние: когда рука приближается передним торцом к какому-либо объекту, но еще не ударяется о него, ЭВМ посылает сигнал о приближающейся опасности и о необходимости снизить скорость.

Вся информация, собираемая рукой в процессе ее движения, передается в ЭВМ, где она обрабатывается и используется при реализации заданной программы, согласно которой рука должна, например, собрать рассыпанные в беспорядке кубики и сложить в коробку. Сбор кубиков для робототехники — «эталонная» задача, имеющая множество вариантов. В варианте, заданном руке Г. Эрнста, эта двигательная задача была описана следующей последовательностью сформулированных на машинном языке операций в программе, введенной в ЭВМ.

1. Рука начинает поисковые движения с целью найти коробку. Коробка выше и больше кубиков. Эти признаки должны помочь руке найти коробку, отличив ее от кубиков.

2. Найдя коробку, ЭВМ определяет ее абсолютное положение и размеры, а также положение руки, в котором она находится, отыскивая коробку. ЭВМ запоминает эту информацию, которая понадобится при складывании кубиков в коробку.

3. Затем рука отправляется на поиск кубиков. Наткнувшись на один из них, она определяет его положение и размеры, чтобы правильно ориентировать захват относительно кубика.

4. Рука схватывает кубик и несет его к месту расположения коробки: она движется до тех пор, пока не наткнется на коробку.

5. Определяется правильное расположение кубика относительно коробки, после чего кубик опускается в коробку.

6. Рука отправляется туда, где она нашла предыдущий кубик, и оттуда отправляется на поиск следующего кубика.

В процессе поиска кубиков рука периодически совершает контрольные движения, чтобы убедиться, что поиск ведется достаточно низко над столом. Если она в процессе поиска ударяется о стол, поиск прекращается, и рука выбирает правильное положение по вертикали.

В этом перечне не нашли отражения многие указания, которые в действительности оговорены в про-

грамме, чтобы предупредить недоразумения, могущие возникнуть в процессе действия руки. Так, в частности, при сборе кубиков она может неудачно зацепить кубик, столкнуть коробку, вторично натолкнуться на коробку и пр. В подобных случаях программа предусматривает различные специальные указания или команды на перевод руки на ручное управление, и тогда в управление роботом вмешивается оператор.

Сама программа, конечно, содержит гораздо больше подробностей, чем те, что перечислены под номерами 1, 2, ...6. В ней расписана процедура поиска, указан целесообразный порядок поиска, указано, что делать, когда замыкается тот или иной контакт, как в том или другом случае устанавливать или поворачивать захват. Другими словами, в программе сбора кубиков поведение руки и ее реакции при взаимодействии с внешним миром записаны с необходимой степенью подробности и, конечно, языком, понятным цифровой машине, то есть числами. Робот в процессе решения поставленной ему задачи будет «железно» следовать всем ее указаниям.

ТРЕТЬЕ ПОКОЛЕНИЕ

Ребенку не представляет труда собрать кубики, на которых наклеены изображения цветов или грибов, поскольку он знает, что это такое. Ему достаточно показать изображение гаек, цифр, космических ракет, и он затем легко соберет кубики с такими изображениями. Мозг человека, как губка, впитывает картины внешнего мира и обладает поразительной способностью к запоминанию, различению и сопоставлению явлений двух миров: внешнего и внутреннего.

Сбор и складывание кубиков — элементарная задача для ребенка. Робот Шеннона — Минского — Эрнста решает только один из ее вариантов, но даже и для этого его пришлось снабдить собственным «внутренним миром», дающим ему представление, например, о том, чем должна отличаться коробка от кубика. Его интеллектуальные совершенства уже намного выше, чем у «версатрана», и он имеет больше оснований претендовать на моделирование поведения живого существа, непосредственно взаимодействующего с внешним физическим миром. Можно уверенно причислить его к представителям второго поколения роботов, но его железным

интеллектом следует восхищаться лишь умеренно, видя, как еще далеко второе поколение отстоит от нашего представления о настоящем роботе.

Рука Г. Эрнста работает с «завязанными глазами». Датчики, которыми она оснащена, собирают информацию вслепую — «осязанием», на ощупь. Она не может отделить процесс сбора информации от процесса движения: сначала получить представление о ситуации, сложившейся во внешнем мире, и только затем начать действовать. Именно поэтому она не может просто собрать кубики, рассыпанные в беспорядке, а вынуждена искать их один за другим. Настоящий же робот должен иметь такие органы чувств, которые дали бы ему возможность предпослать процессу движения процесс сбора информации, чтобы в этом отношении быть антропоморфным, быть хотя бы немного «по образу и подобию».

Человек или животное могут собирать информацию, не трогаясь с места. Для этого им служат и зрение, и слух, и обоняние — эти «бесконтактные датчики», позволяющие живому существу планировать свои действия. Что-либо подобное необходимо и роботу для воспроизведения двигательных функций человека.

Так постепенно определились существенные черты роботов, которые мы можем условно отнести к третьему поколению. Во что это вылилось на практике, проследим на примере робота, разработанного в Массачусетском технологическом институте (МТИ).

В манипуляторах и полуроботах биотехническая система обслуживается телевизионной связью: в рабочей зоне устанавливается одна или несколько телекамер, а на пульте управления, около оператора, — телеэкраны. Телевизионная система «удлиняет» визуальные возможности оператора. Такая телевизуальная обратная связь, как и обычная визуальная, обеспечивает оператору эффект присутствия, так необходимый для сбора информации и оценки ситуации.

Робот МТИ — это все та же механическая рука-манипулятор, но, кроме осязания (как в опытах Г. Эрнста), он оснащен еще и зрением. Рабочая зона, в которой робот действует, осматривается телекамерой, но уже без оператора, который может быстро и легко, окинув взглядом увиденную картину, оценить сложившуюся ситуацию. Теперь эту картину и ситуацию «видит» и



оценивает ЭВМ, и ту задачу, которую очень просто было поручить человеку, надо сделать хотя бы частично доступной автомату. Его интеллект должен иметь тот самый механизм, о котором мы говорили как о механизме распознавания образов. Но, конечно, у железного интеллекта свои механизмы.

Система, принятая в роботе МТИ, различает далеко не все, что видит человеческий глаз. Гигантское количество информации, доставляемое телеприемником, искусственно занижается специальным устройством, извлекающим из полученной картины только те характерные особенности, которые нужны для распознавания объектов с заранее известными свойствами. Такими объектами снова послужили кубики. А для кубиков характерно то, что на их ребрах происходят резкие изменения освещенности от одной грани к другой. Для ЭВМ, обрабатывающей оптическую картину, полученную с телекамеры, оказалась доступной задача выделить из этой картины и запомнить те зоны, где происходят резкие изменения освещенности.

Пока, как видим, задача выглядит очень скромно. Но даже и в этом случае процедура распознавания на

этом не заканчивается. Ведь надо выделить то, что «знакомо» роботу, то, что он может «распознать». Информация, воспринятая из внешнего мира и обработанная по тому или иному способу, должна быть сопоставлена с информацией, которая служит роботу в качестве эталона «знакомого» объекта. Чтобы правильно взаимодействовать с внешним миром, роботу нужно задать этот эталон; нужно сформировать «внутренний мир» робота, сформулировать правила и критерии сопоставления, которыми он должен пользоваться для оценки собираемой информации.

В системе МТИ сведения об особых свойствах распознаваемых объектов (резко меняющейся освещенности) и их характеристиках заранее вводятся в машину, образуя ее внутренний мир. Тогда, сопоставляя особенности освещенности объектов на телеэкране с некоторыми наперед заданными признаками объекта, машина распознает кубики, фиксирует их положение и ориентацию — разбирается в обстановке и может действовать «с открытыми глазами» — не искать кубики, а, почти как человек, брать их и складывать в коробку или строить из них сооружение, то есть делать с ними все, что оговорено программой.

Сплошным потоком по цепям внутренних обратных связей от органов «осязания» и «очувствления», расположенных на захвате руки, и органов зрения в ЭВМ течет информация. В соответствии с этой информацией и с указаниями программы ЭВМ строит движения руки и дозирует развиваемые ею усилия. Так сходство действий робота с действиями живого организма получило дальнейшее развитие. Поэтому мы и сочли возможным отнести этот робот к следующему, третьему поколению.

Но почему робота? Пока это только рука! А где туловище, к которому можно присоединить такие руки?

ПЕРВЫЙ ДИАЛОГ С РОБОТОМ

Американская программа робототехники наряду с другими включает исследования, проводимые в Стэнфордском институте под руководством математика Дж. Маккарти. Там разработана и изучается управляемая электронной вычислительной машиной модель, которая представляет собой тележку, снабженную колес-

ным ходом с независимым электроприводом на каждое колесо. Авторы этой разработки оставили в стороне вопросы, связанные с конструкцией опорно-двигательного аппарата, с его проходимостью и т. п. Центральная задача состояла в том, чтобы создать систему, обладающую высокими информационными возможностями, достаточными для обеспечения ее автономного передвижения. С этой целью она снабжена четырьмя каналами, по которым собирает информацию из внешнего мира.

1. Органы осязания. Они представляют собой набор гибких проволок — «кошачьих усов», — укрепленных на корпусе тележки и работающих в двоичном коде. При соприкосновении усов с посторонними объектами сигналы об этом поступают одновременно к тормозным устройствам тележки, вызывая ее остановку, и в ЭВМ.

Остановка тележки при соприкосновении с посторонним объектом происходит как бы рефлекторно. Однако ЭВМ, получающая одновременно информацию о том, с какой стороны расположено ожидаемое препятствие, может подавить это рефлекторное действие и заставить тележку двигаться дальше или изменить направление движения. Примерно той же цели служит буферное устройство, которое снабжено датчиками, измеряющими силу взаимодействия тележки с препятствиями.

2. Чувство дистанции. Тележка снабжена дальномером, посредством которого ЭВМ определяет расстояние до препятствия или стен помещения. Дальномер расположен на специальной подвижной консоли, имеющей две степени свободы — она может автоматически подниматься или опускаться и поворачиваться вокруг вертикальной оси. Обзор обстановки производится периодически, по команде ЭВМ, путем перемещения дальномерной головки. Информация об измеренных расстояниях поступает в ЭВМ, которая, используя ее, строит грубую картину пространства, окружающего тележку.

3. Зрение и распознавание. На той же консоли, на которой установлен дальномер, расположена и телекамера. Собираемая ею информация обрабатывается по тому же способу, что и в системе зрения робота МТИ. Тележка, как и манипулятор, взаимодействует с объектами простых форм типа кубов, система ее зрения по-прежнему выделяет из даваемого телекамерой изображения зоны с резкими переходами освещенности. О такой системе распознавания образов уже говорилось.

4. Чувство ориентации. Оно обеспечивается специальной навигационной системой. По существу, это система отсчета пройденного пути. Некоторая точка пола помещения, в пределах которого движется тележка, выбрана за начальную. От этой точки ведется непрерывный отсчет поворотов двух ведущих колес, по этим данным вычисляется положение и направление движения тележки. Кроме того, чтобы исключить влияние проскальзывания колес относительно пола, на последнем имеются дополнительные отметки для ориентирования.

Привод колес, как и привод консоли, несущей телекамеру и дальномер, осуществляется электродвигателями, получающими команды от ЭВМ. Тележка связана системой радиосвязи с ЭВМ и пультом, где формируются программы. Команды на движение и на сбор информации вырабатывает ЭВМ в соответствии с программой «текущих действий». В свою очередь, эта программа приводится в действие программами более высокого уровня, которые задаются в ЭВМ оператором, печатающим свои указания в специальном коде на телетайпе — пишущей машинке особой конструкции, установленной на посту управления.

В течение нескольких лет в Стэнфорде ведутся эксперименты с этим пока еще безруким роботом. С окружающим миром он взаимодействует только своим буфером, но и этого оказалось достаточно, чтобы продемонстрировать недюжинные «интеллектуальные» способности стэнфордского робота — еще одного представителя третьего поколения.

Поначалу задачи, которые перед ним ставились, сводились к обследованию незнакомой территории: ее обходу, осмотру, распознаванию обстановки, запоминанию ситуации. Затем исследователи добились того, что робот находил и своим буфером сдвигал кубы в заданное место. После реализации ряда подобных программ был проведен новый эксперимент, в процессе которого робот выполнил задание несравненно более трудное, чем сбор кубиков. Он «самостоятельно» решал, должен ли он или не должен использовать для выполнения поставленной задачи специальное орудие труда.

Вот к чему сводится эта задача. Робот находится в комнате, где стоит платформа, на которой установлен объект призматической формы. Задача робота состоит

в том, чтобы отыскать этот объект и, толкая его буфером, доставить на определенное место. В другом углу комнаты находится передвижная наклонная плоскость. Будучи на колесном ходу, робот не может взобраться на платформу, где стоит призма, с какой бы стороны он к платформе ни подходил.

Чтобы выполнить задание, он должен прежде всего принять решение искать вспомогательное орудие труда — в данном случае передвижную наклонную плоскость. Приняв решение, он должен найти ее, правильно ориентировать и придвинуть к платформе. Только после этого он сумеет вкатиться вверх по наклонной плоскости на платформу, найти объект, столкнуть его с платформы, скатиться по наклонной плоскости с платформы, правильно установить объект и, толкая его, сдвинуть в заданное место.

Формулируя эту задачу, исследователи исходили из того, что с логической точки зрения она не менее сложна, чем классическая задача об обезьяне и бананах, которую используют психологи для оценки уровня интеллектуального развития животного. Обезьяна находится в комнате, к потолку которой подвешена гроздь бананов. Задача обезьяны состоит в том, чтобы достать бананы. В углу комнаты стоит стул. Для обезьяны решение задачи состоит в том, чтобы придвинуть стул к месту, где висят бананы, и влезть на него.

Перед роботом поставлена та же задача, что и перед обезьяной. Обе задачи двухступенчатые с логической точки зрения. В обоих случаях требуются дополнительные приспособления. Задача «обезьяна и бананы» многократно экспериментировалась, и установлено, что ее решение доступно только хорошо тренированному животному.

Создателям робота удалось обучить свое творение решению аналогичной задачи и тем самым доказать, что оно уже может вести себя если не человекоподобным, то хотя бы обезьяноподобным образом.

Робот может не только получать указания в напечатанном виде, но и печатать ответы на указания. Таким образом продемонстрирована возможность диалога робота с оператором в живой форме, не ограничивающей характер и содержание информации, которой они обмениваются. Типичный «сценарий», поставленный в Стэнфорде, сопровождался такой беседой.

Оператор. Придвиньте ко мне небольшой куб в 3 часа дня.

Робот. Имеются два небольших куба.

Оператор. Придвиньте мне меньший из двух.

Робот. Хорошо.

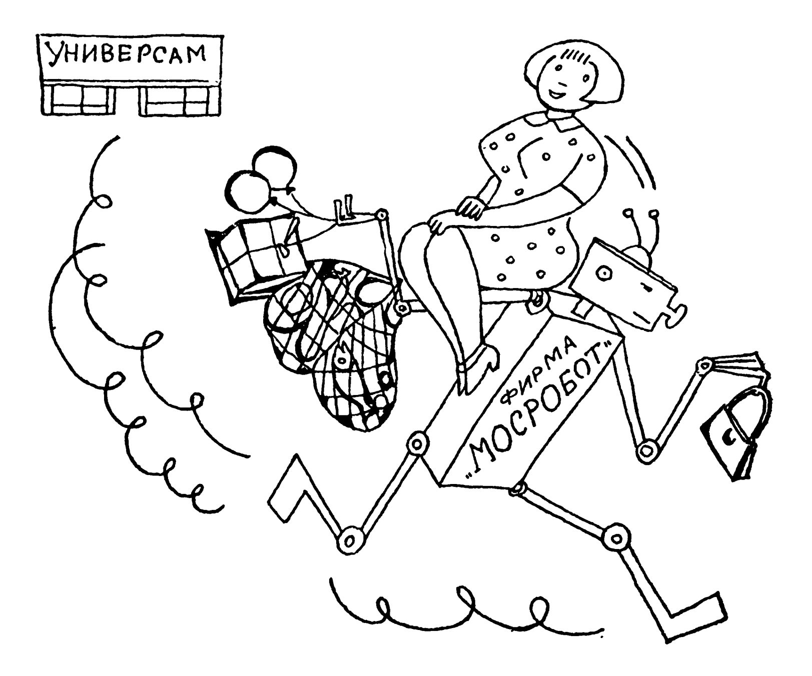
Оператор. Когда вы придвинете мне небольшой куб?

Робот. Я придвину его в 3 часа дня. (Время 3 часа 01 мин.) Я придвинул к вам небольшой куб.

Оператор. Спасибо.

Можно догадываться о том, сколько труда было затрачено на отладку каждой из таких программ, насколько «гладко» их удавалось выполнить роботу. Однако эти и подобные им догадки и соображения не должны закрывать от нас главного: возможности, квалификация и автономность роботов от поколения к поколению непрерывно возрастают.

Стэнфордская тележка по своим интеллектуальным совершенствам вполне подходит в качестве туловища для того, чтобы укрепить на ней механические руки. А если еще вместо колесного хода это туловище снаб-



дить ногами, то это будет уже совсем похоже на настоящего робота. Такие попытки делаются.

Английский профессор М. Тринг в серьезном техническом журнале обсуждает выгоды использования роботов в домашних условиях и формулирует краткие технические условия на такого механического «домашнего работника».

Обсуждение этого предложения другими учеными и инженерами касается не столько возможности построить такой робот, сколько целесообразности и эффективности его применения. А существо предложения уже не кажется совершенно невероятным.

ГАРМОНИЯ

Представьте себе на миг, что в системе естественного интеллекта возникло небольшое отклонение от нормы: информация от органов чувств стала передаваться в мозг значительно медленнее обычного.

Все остальное остается по-прежнему: мы умеем быстро двигаться, быстро соображать, органы чувств воспринимают информацию из внешнего мира как обычно, но только в мозг она поступает с постоянным опозданием. Нетрудно себе представить, к чему неизбежно приведет такое отклонение от обычного, или, применяя медицинский термин, такая патология.

Переходя улицу, по которой едет автомобиль, вы идете совершенно спокойно: ваши глаза уже увидели автомобиль, уши услышали шум, но ведь ваш мозг пока еще ничего об этом не знает. Тревожные сигналы не спеша (как мы условились) движутся по нервам № 2 и № 8 (см. главу «Механизмы интеллекта»). И водитель автомобиля совершенно спокоен: он вас все еще не видит. Легко предсказать, чем эта совершенно спокойная ситуация может кончиться.

При такой патологии любые нормально развивающиеся события превратятся для нас в быстротекущие, мы их перестанем замечать; перестанем замечать движения автомобиля, как сейчас не замечаем смены кадров кинофильма. Чтобы в этих условиях «с толком» пользоваться органами чувств, нам надо будет двигаться очень медленно; иначе не успеть получить информацию, нужную для принятия решения.

Да и торопиться с решениями тоже потеряет смысл.

Ведь они теперь принимаются применительно к ситуации, которая складывалась значительное время тому назад. С тех пор она могла значительно измениться. Быстро примешь решение, а оно в новой ситуации будет бесполезным, а то и того хуже.

Двигаться и мыслить со скоростью, нормальной для мира, в котором мы живем, станет просто опасно, а по-другому в нем жить невозможно. Он ведь устроен нормальными людьми, рассчитан на то, что их чувственные восприятия, интеллектуальные возможности, двигательные способности, их, как говорят психологи, сенсопсихомоторные реакции, во-первых, развиты нормально, пропорционально одни другим, и, во-вторых, все они вместе могут действовать в темпе, какой им навязывают условия жизни.

А для существ с той «небольшой» аномалией, которую мы сейчас вообразили, пришлось бы построить другой мир, живущий значительно медленнее, позволяющий медленно не только чувствовать, но и думать, и двигаться. За нашим миром они успеть не могут, он не для них.

Можно на миг вообразить аномалию другого рода — например, запаздывание в работе механизмов интеллекта, занятых планированием и принятием решений. Пытаясь представить себе эффект замедления темпа мышления, сразу обнаружим последствия такой патологии. Что толку чувствовать и двигаться по-прежнему, с нормальной скоростью, без задержек, если подолгу не знать, что делать с чувственными восприятиями, подолгу соображать, как и куда двигаться? Как неприятно, например, увидев движущийся на тебя автомобиль, не сообразить вовремя увернуться от нежелательной встречи!

Можно перебирать одну подобную патологию за другой, пытаться представить себе, к чему каждая из них может привести. Но если каждое рассуждение доводить до логического конца, то каждый раз неизбежно приходишь к выводу о необходимости гармоничного сочетания наших свойств и возможностей.

Любому живому существу свойственна своя гармония между чувственными, интеллектуальными и двигательными способностями. Эта гармония достигается и соблюдается в процессе эволюционного развития. Ненужные свойства и способности утрачиваются, новые приобретаются.

Человек превосходно понимает значение гармонии и стремится к ней во всех своих созданиях. Он не будет оснащать автомобиль двигателем мощностью в пять тысяч лошадиных сил, в ресторане вам не подадут котлету размером с поднос, для изготовления канцелярских кнопок не применяют пресс с усилием в 500 тонн.

Однако достигнуть гармонии непросто. В этой главе мы познакомили вас с некоторыми разработками, связанными с созданием «очувствленных» роботов. Это, конечно, не все, что сейчас уже есть или что делается в этой области, но современный уровень робототехники приведенные примеры характеризуют достаточно точно.

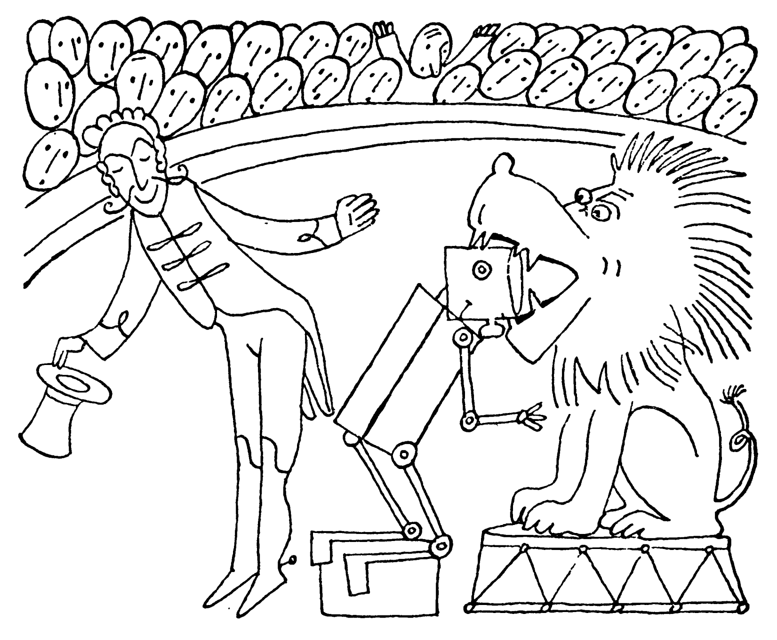
Мы видим, каких трудов стоит в этой области продвижение на каждый шаг. Понимая это, называем каждый такой шаг продвижением на целое поколение, отдаем должное изобретательности, эрудиции, таланту людей, работающих в области робототехники.

Оснастить захват бесчувственного робота датчиками, позволяющими ему осуществлять взаимодействие с внешним миром, искусственно создать нечто подобное чувству осязания и нечто подобное механизму интеллекта, позволяющее роботу полезно использовать это чувство, — большой шаг вперед.

Оснастить его еще одним чувством, подобным чувству зрения, и еще одним механизмом интеллекта, позволяющим полезно применить это чувство, — тоже большой шаг вперед.

Шаг за шагом робототехника движется вперед! Движется по всем направлениям. И в направлении повышения двигательных возможностей роботов, и в направлениях совершенствования устройств очувствления и развития систем их интеллекта. Направлений много, и, как обычно бывает, труднее всего добиться их гармоничного развития.

Телекамера видит много, а использовать ее возможности пока нельзя. Пока еще нет средств достаточно быстро сообщить искусственному интеллекту подробности того, что видит «телеглаз». Эти подробности не только нельзя использовать, они приносят вред. Ведь для того, чтобы исключить их из изображения, оставить только зоны резкого изменения освещенности, нужны дополнительные ухищрения, дополнительная техника, дополнительное время. Какая это гармония, если



нужно потратить усилия, чтобы увидеть меньше, чем можно?

Робот предназначен для того, чтобы двигаться, а видеть он пока умеет только неподвижные объекты, хотя ЭВМ — материальная основа «очувствленных» роботов — «в уме» может решать очень сложные задачи и о движении спутников, и о движении ракет, и о движении роботов.

Очень трудно ученым и инженерам достигать гармонии в этих своих созданиях, хотя у них перед глазами всегда есть оригинал, в котором эта гармония доведена до совершенства. То, что естественно в биологической системе, невозможно воспроизвести в технической системе. Все нужно делать не так, по-новому, нужны новые средства, новые устройства, новые системы, каких не было ни в биологии, ни в технике. Необходимость в них остро чувствуется, но, пока их нет, неизвестно, как их построить, что они должны и что будут собой представлять.

Как тут не вспомнить четверостишие, которое написано поэтом Р. Гамзатовым будто специально по вопросу о будущем роботов.

Кипит котел, но пища не готова,
Судить о ней пока что не пора,
Поскольку вкус хинкала или плова
Нельзя узнать по запаху костра.

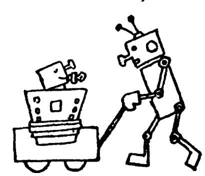
Только с мыслью, выраженной второй строкой, согласиться никак нельзя. О судьбах робототехники надо судить сегодня, о них много судят. И не ждут того, чтобы сначала все сделать до конца, достичь в роботах полной гармонии, а потом только пускать их в дело.

Вот робот первого поколения. Казалось бы, какая в нем гармония? А уже работает в производстве. Почему? Да потому, что гармония роботу нужна не сама по себе. О том, достаточен или недостаточен ее уровень, можно судить, только зная, как устроен мир, в котором ему придется работать. Гармония должна соблюдаться в системе, включающей и робот, и его среду обитания. Их нужно строить и организовывать так, чтобы достигалась гармония всего комплекса в целом.

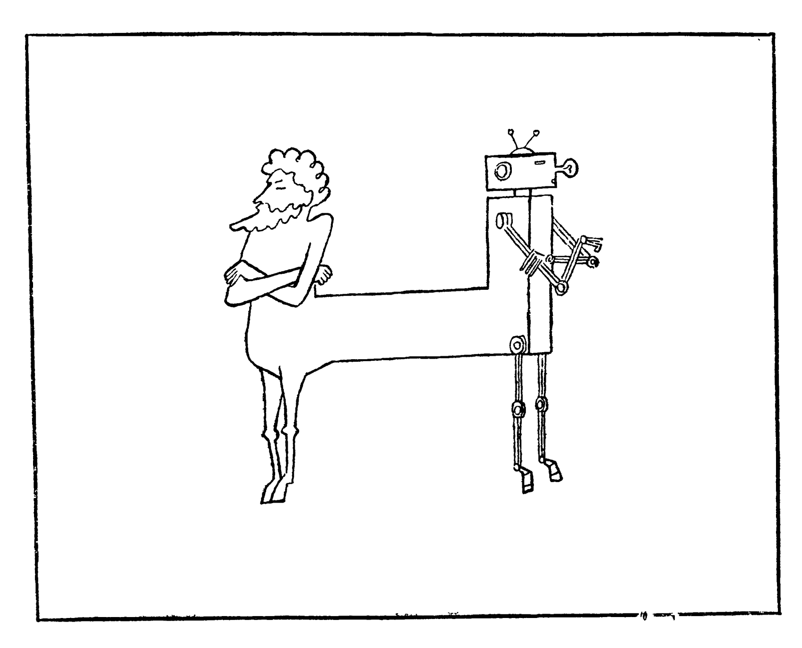
Бесчувственный робот не может приспосабливаться к среде? Ну что же, надо полностью организовать среду, чтобы ему не приходилось приспосабливаться. Раз выгодно, экономно, эффективно — то надо, «овчинка стоит выделки»!

Вы научили робот чувствовать, думать? Сделали шаг вперед? Воспользовавшись самыми свежими «плодами просвещения», изобрели ультразвуковые уши, лазерные глаза, разработали погремушку, с помощью которой искусственный интеллект робота решает сложнейшие двигательные задачи? Хорошо! Для такого робота дело обязательно найдется. Ведь параллельно естественному отбору роботов идет естественный отбор их применений. В робототехнике, как в природе, естественный отбор должен осуществляться комплексно, гармонично!

Такая всесторонняя гармония его собственных свойств и свойств среды обитания — важнейший закон робототехники. Руководствуясь этим законом, легче ориентироваться в робототехнике, легче судить о ее путях.



ЛЮДИ — КАК БОГИ



ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ДИАЛОГИ

— А я уверен — бога нет!

— Вот тебе на! А кто же нас придумывает, смазывает и включает? Скажи, кто?

Примерно так мог бы выглядеть мини-диалог двух роботов.

В наше время просто невозможно изобрести новую форму литературного произведения. Все они уже давным-давно известны: драмы, комедии и пасквили; водевили, монографии и басни; доносы, статьи и романсы; челобитные, сонеты и частушки; эссе, эпиграммы и эпитафии — все это писали еще в глубокой древности и пишут до сих пор.

Но нельзя отрицать того, что классические формы пытаются деформировать и, конечно, наполняют новым содержанием. Возьмем, к примеру, такую литературную форму, как эвристический диалог. Говорят, что ее изобрел древнегреческий философ Сократ, живший еще до

нашей эры. Правда, сам он ни одной строчки не написал, но это за него сделали его ученики, среди которых были такие толковые ребята, как Платон и Ксенофонт — два известных греческих философа.

Эвристический диалог в их понимании — это своеобразная беседа, в процессе которой один из собеседников с помощью системы вопросов подводит других участников беседы к таким выводам, к каким они сами не умели или не хотели прийти.

Сократ был большой мастер подобных бесед, критически направленных в адрес властей предержащих. Это для него плохо кончилось. Он был привлечен к суду за совращение молодежи, которую он призывал к умеренности и справедливости, был приговорен к смертной казни и, не дожидаясь ее, выпил яд.

Так или иначе, но с легкой руки Сократа эвристические диалоги получили большое распространение. Поначалу, как им и было задумано, это были беседы учителя с учениками. Учитель глубокими и мотивированными вопросами вынуждал учеников изо всей силы шевелить мозгами, искать ответы, находить истину. Да и учителю было непросто, и он должен был шевелить мозгами, чтобы выстроить железную логику своих вопросов.

Однако постепенно содержание диалогов менялось. Особенно заметны стали эти изменения в известных беседах о механике, написанных Галилеем (он и здесь сумел сказать свое слово!). В его диалогах беседуют уже не учитель, задающий вопросы, с учениками, ищущими на них ответы.

Беседы Г. Галилея — это дискуссии, в которых участвуют ученые, придерживающиеся разных взглядов на один и тот же предмет. И даже участник дискуссии, которого Г. Галилей назвал Симпличио (буквально «простак»), выведен отнюдь не невежественным человеком; он умен, начитан, умело ставит вопросы, понимает доводы собеседников.

Однако дело «деформации» форм диалогов на месте не стоит. В последнее время широкое распространение получили диалоги в форме интервью, бесед одного ученика с одним или несколькими учителями, когда уже ученик, а не учитель задает вопросы. Ученик может задавать любые вопросы, но он тоже не такой уж простак и, как правило, выбирает их так, чтобы выставить учителя в самом выгодном свете и дать ему возможность

проявить себя в полном блеске! (А иначе зачем учителю диалог?)

Мы думаем, что автором этой формы следует считать одного из основоположников детективной литературы, английского писателя Конан-Дойля. Во всех его детективных историях наряду с гениальным сыщиком Шерлоком Холмсом (учителем) подвизается доктор Ватсон (ученик). Обычный рассказ Конан-Дойля — это диалог нарочитого простака, упорно выспрашивающего суперспециалиста своего дела и непрерывно им восхищающегося.

Конан-дойлевская форма хорошо привилась, сейчас широко применяется для выяснения многих важных вопросов научно-технического прогресса. Вместе с тем нам представляется, что галилеевская форма диалога в наше время не утратила еще своего значения, и даже сократический диалог в отдельных случаях может представить большой интерес.

Именно такими соображениями мы руководствовались, берясь за эту главу. Она набор диалогов четырех разных форм. Вам предстоит встретиться со старой (галилеевского типа) и очень старой (сократического типа) формами. Последний диалог главы написан в развитие стэнфордовского опыта, о котором вы прочли в предыдущей главе. Из двух его участников один — настоящий человек, другой — искусственный.

И наконец, мы предлагаем для нужд будущего еще одну новую форму — диалога, совершающегося между двумя искусственными участниками — роботами. С мини-вариантом этой формы вы уже познакомились: он фигурирует в начале главы. На большее у нас фантазии не хватило.

Мы понимаем, что поскольку эта глава носит главным образом литературоведческий характер, посвящена обсуждению уже используемых, а также возможных новых форм литературного произведения, то само существо произведения при этом отступает на второй план. Но все-таки решили придерживаться нашей основной темы — робототехники.

Единственно, что мы себе позволили, — это не всегда быть оригинальными. Считаем своим долгом предупредить вас, что далеко не все идеи, мысли и даже фразы в этих диалогах сочинены лично нами. Поэтому убеди-

тельно просим не выражать беспокойство и не прерывать чтения, если встретите в нижележащих текстах знакомые мотивы.

ДИАЛОГ ГАЛИЛЕЕВСКОГО ТИПА

Его участники — два просто приятных ученых: литератор (Л) и математик (М). Оба — любители робототехники в самом хорошем смысле. Именно любители, а не так называемые знатоки, которые по поводу любого технического предложения, вносимого любителем, начинают морщиться так, будто их заставили прожевать сразу целый лимон. Здесь не так. Здесь оба любители; и вы сами сейчас увидите, как продуктивно и благожелательно протекает их беседа. Точно как в сочинениях Г. Галилея (том 1).

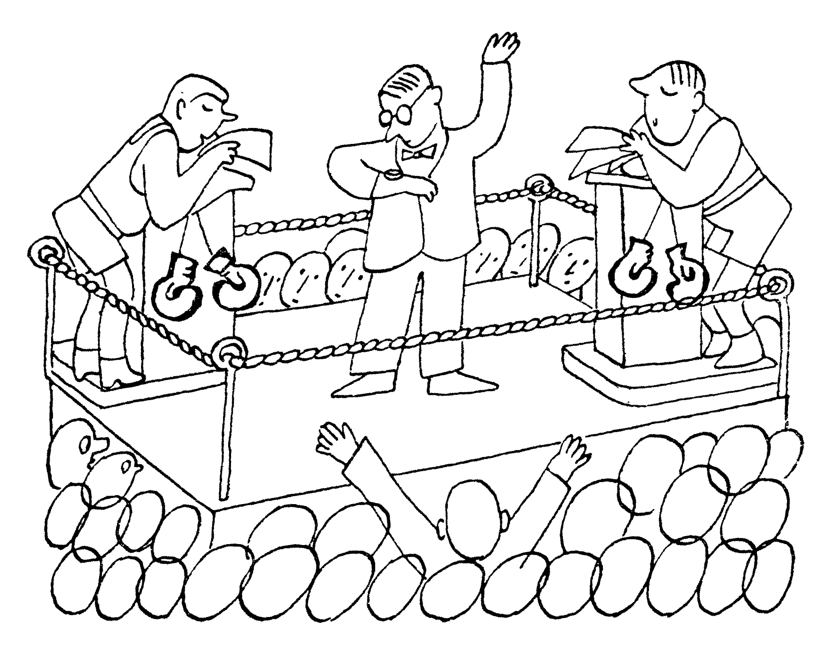
Л. Я с большим интересом следил за успехами новой, необычайно увлекательной области науки и техники — кибернетики. Но в последнее время вы говорите такое, что поневоле думаешь, не морочат ли знающие люди малознающих, не разыгрывают ли они их шутки ради?

М. А что, собственно, навело вас на такие грустные мысли? Поделитесь со мной. Гарантирую, что через несколько минут вам будет все абсолютно ясно.

Л. Ну вот, например, вы говорите о возможности создать полноценное живое существо, построенное на каких-то цифровых механизмах... Ей-богу, если вы и дальше будете так говорить, то мне придется изменить свою точку зрения на 360 градусов!

М. Прошу вас! Не пытайтесь выражать свои мысли в числах и не упоминайте о цифрах и цифровых механизмах. Старайтесь говорить проще, а точку зрения меняйте в самом крайнем случае не больше чем на 180 градусов.

Л. Нет, в самом деле! Может быть, доказывая возможность создать искусственные «живые» и «разумные» существа, вы употребляете эти выражения не в буквальном, а в каком-то особом значении? И о способности роботов обогнать в своем развитии человека и взбунтоваться — это тоже говорится в каком-то особом смысле, улавливаемом лишь специалистами?



И вообще, товарищи, вы это всерьез? Или в шутку? Объясните простым людям, неспециалистам! А то получается не кибернетика, а просто сказки, какая-то электронная мифология!

М. Я не понимаю, на какие шутки с нашей стороны вы можете рассчитывать? Мы все говорим буквально и всерьез!

Л. Так, значит, для вас что человек, что робот — одно и то же? Ответьте мне поскорее!

М. Да! Вы, как обычно, не понимаете, что означают те понятия, которыми оперируете. Попробую все-таки вам помочь.

Прежде всего о роботах и живых существах. Мы условились называть машиной любую систему, способную совершать действия, ведущие к определенной цели. Значит, и живые существа, человек в частности, в этом смысле являются машинами. Кажется, уж что может быть проще?

Л. Да, да! Я начинаю улавливать! Значит, это вы просто так взяли и условились называть человека машиной. Просто условились, и все!

М. Постойте, постойте! У вас действительно все по-

лучается слишком просто! Как это — просто условились? Вы не заметили самого главного логического доказательства!

Л. Какого?

М. Машиной мы называем систему, способную совершать целесообразные действия. Человек способен совершать целесообразные действия? Способен! Значит, в этом смысле человек — это что?

Л. Что??

М. Машина!

Л. Гениально! Просто и гениально!

М. Вот видите. Пока человек — это самая совершенная из известных нам кибернетических машин. Но это пока. Будущие кибернетические роботы — это, в частности, будущие люди. Они будут гораздо совершеннее современных нам людей.

Л. Кто они? Будущие роботы или будущие люди?

М. Опять все сначала!

Л. Одну минуту. Кажется, я сейчас уже все понял! Скажите, если условиться называть курицей систему, обладающую двумя нижними конечностями, то, значит, вы — курица?

М. Почему курица?

Л. Нет, не вообще курица, а только в смысле числа нижних конечностей. У курицы их две, и у вас две! А ведь мы условились называть курицей любую систему с двумя конечностями, так же как вы условились называть машиной любую систему, способную совершать целесообразные действия.

М. Ах, в этом смысле! Я бы не назвал ваш пример удачным, но ход рассуждения вы уловили более или менее правильно. Поздравляю! Вы делаете успехи.

Л. Благодарю! Ваш комплимент вдохновляет меня задать вам еще один вопрос. Я вас не утомил?

М. Нет, пожалуйста, спрашивайте!

Л. Как это надо понимать о самовоспроизводящихся роботах, о которых вы упоминали во многих дискуссиях?

М. Так и понимать, как мы говорили.

Л. А в этом отношении вы между собой ни о чем не условились?

М. Я вас не понимаю.

Л. Ну, в том смысле, что это только говорится о самовоспроизведении, а в самом деле роботов при этом больше не делается?

М. Ну что вы! Здесь все совершенно точно: как говорится, так и делается!

Л. И как это делается?

М. Как обычно!

Л. Что значит «как обычно»?

М. Придется это вам объяснить. Представьте себе полностью автоматизированный завод, выпускающий точно такие же машины, какие на нем установлены...

Л. Какие машины?

М. Любые.

Л. Что значит «любые»? Я был с группой писателей на кондитерской фабрике. Нас там интересовал целый ряд вопросов, мы побывали во многих местах и, по-моему, видели самые разные машины. Например, там работала машина, заворачивающая карамель. У меня до сих пор отчетливое ощущение, что она годится только для этого и никакими способностями к самовоспроизведению не обладает.

М. Значит, вам попалась неудачная машина.

Л. Почему неудачная?

М. Сейчас я вам объясню. Эта машина была сделана из железа? Не правда ли?

Л. Да, точно! Откуда вы знаете? Вы тоже когда-нибудь были на кондитерской фабрике?

М. Нет, я никогда и нигде не был! Но ведь это все предельно просто. Машина, которую вы видели, сделана из железа, а приспособлена для работы с карамелью и бумагой. Конечно, она не способна к самовоспроизведению. Между прочим, таких примеров много. Автомобиль тоже из железа, а приспособлен только для езды...

Л. Автомобиль не целиком сделан из железа. У него есть и стекло и резина...

М. Это неважно. Надо уметь оставлять в стороне мелкие обстоятельства! Так вот, я говорю, что на моем полностью автоматизированном заводе установлены такие роботы, которые умеют делать из железа такие же части, из которых они сделаны сами. Затем они их собирают вместе.

Л. Кто кого собирает?

М. Роботы, установленные на автоматизированном заводе, собирают новые роботы. По-моему, это совсем нетрудно себе представить.

Л. Вам нетрудно. Вы никогда нигде не были. А я был на кондитерской фабрике...

М. Да что вы, в самом деле, никак не забудете кондитерскую фабрику?

Л. Я это говорю к тому, что там очень тесно. Я не понимаю, где на вашем автоматизированном заводе будут стоять роботы последующих поколений.

М. Их будут ставить в другой дом.

Л. А кто построит этот другой дом?

М. Совсем нетрудно себе представить, что на моем автоматизированном заводе имеются роботы, которые сделают все части этого дома.

Л. А где они возьмут кирпич?

М. Совсем нетрудно себе представить...

Л. А мне с каждой минутой все труднее и труднее себе все это представить. Но у меня к вам еще один вопрос. Расскажите, пожалуйста, как работает ваш автоматизированный завод?

М. Что значит «как работает»? Я ведь вам сейчас все подробно объяснил. Там есть машины, которые делают такие же машины, которые делают такие же машины, которые делают такие же машины и т. д. Что тут еще остается такого, что может потребовать объяснений?

Л. Нет, это мне как раз полностью понятно. А непонятно, как устроены эти машины.

М. Понял ваш вопрос, отвечаю. Любая электронная вычислительная машина состоит из четырех частей: память, арифметическое устройство, вход-выход и устройство управления...

Л. Постойте, одну минуту! Разве на вашем полностью автоматизированном заводе установлены только вычислительные машины? Они ведь все делают только «в уме». А вы говорили, что у вас все делается всерьез и ни о чем не надо уславливаться.

М. Конечно, на моем полностью автоматизированном заводе есть разные машины и разные роботы.

Л. Вот я и спрашиваю, как они устроены?

М. А разве кому-нибудь это интересно? Мне, например, это совсем неинтересно!

Л. А мне интересно!

М. Они устроены так, что могут сделать все, что угодно. Для них все возможно.

Л. А что у них внутри?

М. Внутри у них, наверное, разные части и программы.

Л. Ну вот наконец я и это понял. Значит, разные машины состоят из разных частей, а одинаковые машины — из одинаковых.

М. Вероятно, дело обстоит именно так, но это уже малоинтересные подробности.

Л. И еще, теперь уже самый последний вопрос. Как же эти машины работают?

М. Без подробностей это выглядит так. У них все время что-нибудь движется — то то, то се. Когда работа сложная, то движется и то и се. А когда они отдыхают — то ни то, ни се.

Л. А более подробно как это выглядит?

М. Более подробно в этом не может разобраться ни один математик. Я сам пробовал в этом разобраться и точно знаю, что это невозможно.

Л. Благодарю вас! Как хорошо, что мне удалось на таком высоком уровне обсудить с вами вопрос о возможном и невозможном в кибернетике, о новейших кибернетических роботах.

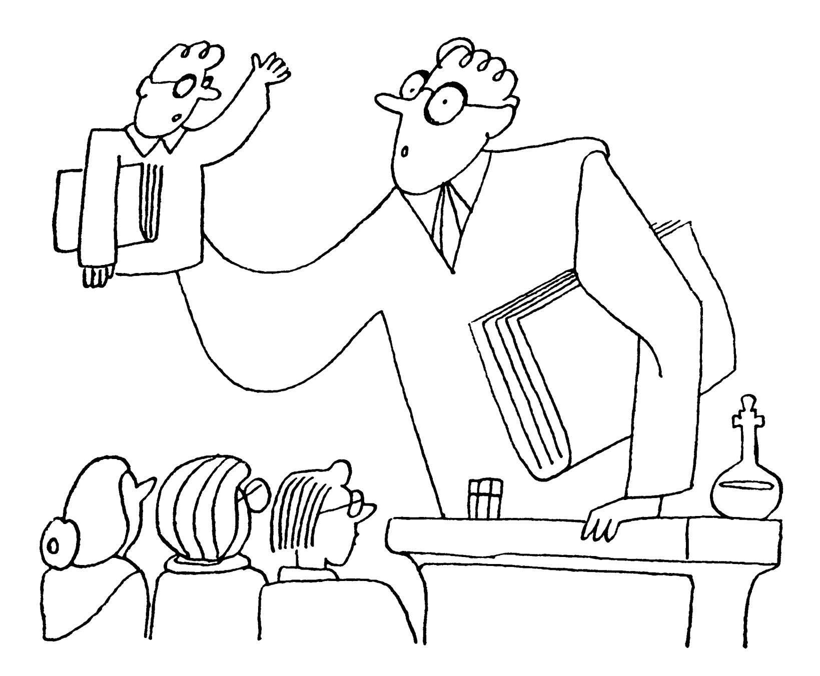
МОНОДИАЛОГ

Это вариант диалога сократического типа. В нем участвует только учитель — ученый, приятный во всех отношениях. Другими словами — кибернетик. В качестве учеников здесь выступают фантасты-футурологи. (Футуролог— современный астролог. Он тоже предсказывает будущее. Но только не по расположению естественных небесных тел, а на базе некоторых научных данных.) Но они выступают молча. Учитель заранее знает все, что может спросить кто угодно, и предвосхищает вопросы. Поэтому получился монодиалог.

Что-то я замечаю, у вас с научной фантастикой не того! Нету фантазии в вашей фантастике! Отстает она у вас, бедная, от реальностей, от наших простых кибернетических реальностей. Каждый фантаст-футуролог обзавелся своими роботами. А какое у ваших роботов, извините, качество? Как поглядишь да как послушаешь любого вашего робота, так тошно делается. Сразу видишь — глупее он самого среднего человека! Глупее, и все тут! Надо вам, батеньки, прийти ко мне в лабораторию. Я вам покажу, какого мы на днях настоящего ребенка состряпали! Просто жуть! Да нет, не старым спо-

собом, а новым, нашим — кибернетическим! Это ребенок-робот. Еще ребенок, а ума — палата. Не чета вашим, из детского садика. А главное, сажаешь его за дверь — и, пожалуйста, беседуй: ты ему «ку-ку», он тебе «ку-ку», невозможно отличить нашего от настоящего. Поговорить с ним? Когда угодно! Нет, сегодня нельзя и завтра нельзя. Приходите через тридцать лет! К этому времени у нас уже будет готов взрослый полноценный искусственный человек — робот на цифровых механизмах. С настоящим искусственным интеллектом. Как мы подгоняем искусственный к естественному? Очень просто! По коэффициенту интеллектуальности. Не знаете? Сейчас узнаете! Этим коэффициентом можно измерить умственные способности любого человека. У нас в институте уже давно разработаны специальные задания, называются — тесты. Дают вам такое задание, там всякие задачи и вопросы. Вы отвечаете, как в школе; вам ставят отметки, как в школе, — 3, 2, 4, 1... разные, какие заслужите. А потом все отметки суммируются. Получится в пределах 85—115 баллов, значит, у вас средние умственные способности. Получите 150 баллов, а то и больше — будьте здоровы! Вы настоящий гений! Ну а наберете меньше 85 баллов, пеняйте на себя, больше не на кого. Теперь, значит, мы такие же тесты разработали для роботов. Даем им задания и считаем отметки. Наберет он от 85 до 115 очков — все в порядке. Создан робот, которого по умственному развитию не отличите от других представителей большей части людей, составляющей 70 процентов всего населения. Приходите ко мне в лабораторию, поговорите с ним, не сумеете отличить, где робот, где кибернетик. Голос — прямо человеческий! Ты ему вопрос, он тебе ответ, ты вопрос — он ответ. И все по существу. Что значит какие вопросы? Любые, какие хотите! Его ни на чем не поймаете, абсолютно все знает. Нет, не сегодня и не завтра! Я же вам сказал, через тридцать лет! Объяснить, какие тесты для людей? Какие в них задачи? Пожалуйста, объясню! Все они, самое главное, опираются на разные важные психологические законы. А еще все они отдают немного шуткой. Ну вот, например, такая задача: «На двадцатом этаже небоскреба живет карлик. Каждое утро, идя на работу, он входит в лифт, нажимает кнопку, опускается на первый этаж. Вечером, возвращаясь с работы, входит в лифт, нажимает кнопку, под-

нимается на десятый этаж, а остальной путь проделывает пешком. Почему он не поднимается в лифте на двадцатый этаж?» Ответ? Ответ сюда подойдет любой, но самый умный и самый правильный такой: «Карлик может дотянуться только до кнопки десятого этажа». Ха-ха-ха, ха-ха-ха! Вы знаете, сколько раз вспомню эту задачу, столько раз хохочу. Какой умный, правильный и, не побоюсь сказать, смешной ответ! Вот эта задача! А главное, прямо из реальной жизни! И все другие тоже такие же! Наберете 100 очков, знайте, у вас хорошие средние умственные способности! Это вы уже знаете! А у нас в лаборатории сейчас разработан проект «Робот-2000». Это знаете что будет? Куда вашим фантазерам! Мышцы — во! Подвижность — во! Интеллект — во! Как рот откроет — теорема доказана. Второй раз откроет — стих, как у Есенина, даже поэтичнее! Третий раз откроет — фуга Дунаевского тут как тут! А внешность — жуть берет! Не отличить от меня с вами! Мы для него специальный тест готовим потому, что человеческие не подходят. Он по ним около 200 очков набирает! А среди людей, самых умных, только один из 3 тысяч может



набрать 160 очков, не больше! Приходите, послушайте его, поймете, что значит суперробот! Ему дашь какое-нибудь задание, например, открыть закон Архимеда или решить квадратное уравнение, он только рот откроет — и готово. А в последнее время стал говорить такое, что даже мы ничего понять не можем. Смекаем, что что-то очень умное, а что именно, никак не смекнем, жуть берет! Нет, сегодня нельзя и завтра тоже нельзя. Сами знаете, когда можно! Мы сейчас новый проект разрабатываем, специальный транслятор для перевода с ихнего на наш. Специальный язык нужен — длинный-предлинный! Сейчас как раз конец языка разрабатываем, потом начало вспомним и будем закладывать! Как что? Транслятор будем закладывать, это термин у нас такой специальный, кибернетический. Трудности большие ожидаются, поскольку в транслятор делаем 30 тысяч входов для перевода с ихнего на наш. Как зачем? Разве я вам не говорил? Только между нами, как мы говорим, «антрну»! 30 тысяч курьеров... то есть суперроботов — первую экспериментальную серию планируем. Представляете себе, что будет, когда мы их в дело пустим. Но работы, работы! Их всех ведь надо понять, узнать, что они хотят, что им нужно для их дел и для их удовольствий. Обеспечить надо всем необходимым, создать условия! Подумаешь — жуть берет! Пожалеешь, что так много наделал для робототехники. Но ничего, управимся со всеми трудностями! А их будет ох как много, не хочу вас пугать насмерть. А чего нам бояться? Что у них, у суперов, какие-нибудь вредные тенденции обнаружатся? На нас, кибернетиков, накинутся? Мы на этот случай как раз сегодня утром очередное гениальное изобретение сделали. Еще пока не слышали? Обязательно услышите! Коллективный рубильник называется! Это такая штука на стене. К ней прицепляешь весь коллектив, все 30 тысяч курьеров, то есть наших суперов. Когда нужно, пожалуйста, р-раз — и все 30 тысяч скачут в разные стороны, то есть берутся за свои дела, кто во что горазд. Ну а если они горазды не туда, куда надо, то мы эту штуку, рубильник, значит, р-раз — и стоп, братцы суперы! Техника на таком уровне — жуть берет! Можете прийти посмотреть. Нет, не сегодня и не завтра. Вы ведь знаете когда! Я уже, помнится, давеча вам говорил. Ровно через тридцать лет, минута в минуту! Смотрите не опоздайте!

ВТОРОЙ ДИАЛОГ С РОБОТОМ

Живописцы фламандской школы были, как известно, большие любители съестных натюрмортов. Они часто называли свои полотна примерно так: «Натюрморт с судаком» или «Натюрморт с индейкой», выделяя тем самым главное «действующее лицо» художественного произведения. Название нашего рассказа тоже выбрано с расчетом, чтобы вы сразу поняли, кто в нем главное действующее лицо. Правильно! Робот с искусственным интеллектом (И. И.)! Хороших средних умственных способностей. Его собеседник? Естественный интеллект, какой-то Василий Иванович (В. И.), один из 70 процентов населения! Его коэффициент интеллектуальности? Понимаете ли, с оценкой произошло, очевидно, какое-то недоразумение! Но не стоит забегать вперед, этот вопрос они — искусственный с естественным — как раз обсуждают в диалоге, предлагаемом вашему вниманию.

И. И. Кто следующий? Василий Иванович, заходите, пожалуйста!

В. И. Что такое? Приглашали зайти, а никого нет?

И. И. Не беспокойтесь, Василий Иванович! Я здесь, за дверью, в комнате рядом! Я сегодня плохо выгляжу, поэтому, извините, к вам не выйду, уж побеседуем заочно!

В. И. Да, хорошо! Я тоже сегодня плохо выгляжу! Вчера был в гостях у свояка, поздно засиделись, и закуска была неважная! И Вы, наверное, тоже того? Я слышу, у Вас голос хриплый, непохож на человеческий.

И. И. Нет, похож, похож! Я в гости не хожу! У меня другие причины.

В. И. Ну понятно! У каждого свои дела. Так о чем надо беседовать? А то я чувствую себя неважно, да и настроение плохое.

И. И. Почему?

В. И. Одну причину Вы уже знаете, а другая — говорят, Третьяк заболел! Да! Мне доктор в соседней комнате сейчас сказал, что Вы на любые вопросы отвечаете! Может, знаете, как он себя чувствует?

И. И. Третьяк, Третьяк? Я знаю 1268 Третьяков! Кого Вы имеете в виду?

В. И. Как кого? Вратаря!

И. И. Какого вратаря?

В. И. Да что Вы, не знаете, что ли? Третьяк — хоккеист!

И. И. Ясно! Секунду! Итак: Владислав Третьяк, заслуженный мастер спорта, многократный чемпион Советского Союза, чемпион Олимпийских игр, многократный чемпион мира, игрок Центрального спортивного клуба армии, кавалер...

В. И. Во дает! Да, да, этот самый! Так как он себя чувствует? Говорят, вчера получил серьезную травму! А я как раз у свояка был, так мы отвлеклись там немного от телевизора!

И. И. Вот этого я не знаю. У меня последние сведения о нем за 1976 год. Сейчас проверю! Да! Новых сведений нет!

В. И. Что, перестали интересоваться хоккеем?

И. И. Да это не я перестал!

В. И. А кто? Жена? Даже по телевизору не смотрите?

И. И. Я не женат! А телевизор вообще не смотрю. там все мелькает, мелькает, ничего не разберешь!

В. И. У вас что, глаза больные? Или соображаете плохо? Так тоже бывает. У меня есть один знакомый. Он когда смотрит фильм с этими, надписями, как их? Забыл! Ах да, с титрами! Всегда ругается. Говорит, или фильм смотреть, или читать. Я, говорит, не Архимед, не могу сразу два дела делать!

И. И. Нет, у меня другие причины. А соображаю я превосходно. Любую задачу могу решить.

В. И. Вот здорово! А я похвалиться не могу. Слабоват в этих вопросах.

И. И. Какой ваш коэффициент интеллектуальности?

В. И. Что за коэффициент? Понятия не имею!

И. И. Посмотрите вашу карточку. Какое там число?

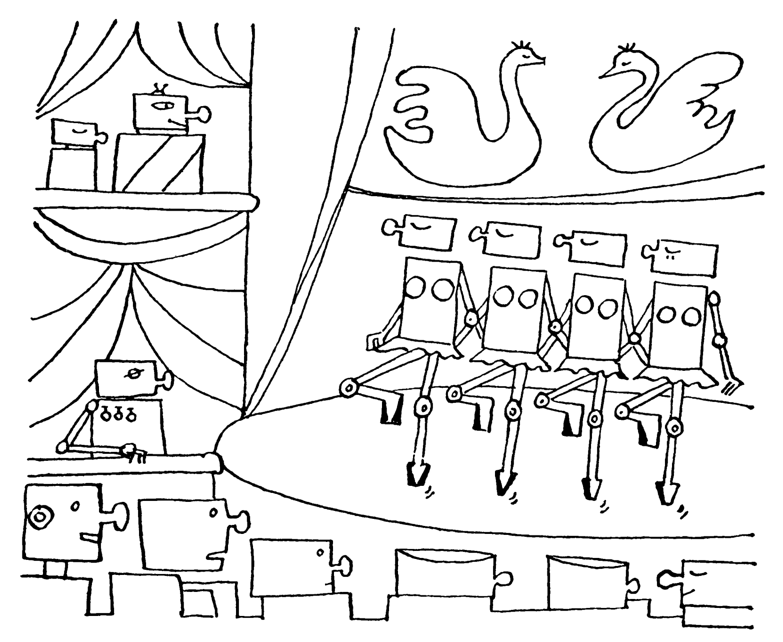
В. И. 70.

И. И. Да, маловато! С тестом не управились?

В. И. Не знаю, с каким тестом? Только сейчас разговаривал с каким-то доктором. Он начал объяснять мне задачу, и мы немного поскандалили. Вот он мне эту отметку и вкатил.

И. И. О какой задаче поспорили? Вы ее помните?

В. И. Конечно, помню! «На двадцатом этаже небо-



скреба живет карлик. Каждое утро опускается вниз на лифте. Вечером, когда с работы идет, поднимается только на десятый, а дальше — пешком!» Вот доктор и спрашивает: почему, мол, карлик, прямо к себе, на двадцатый этаж, не едет? Вы знаете эту задачу?

И. И. Конечно, знаю. А как Вы ее решили?

В. И. Я у него сначала спросил, всегда ли карлик поднимается в лифте один? Он ответил: «Да».

И. И. Правильно!

В. И. Если так, то откуда Вы знаете, что он каждый раз выходит на 10-м этаже? Что у Вас в доме, на каждом этаже по лифтеру?

И. И. Я постоянно живу здесь и ни разу лифтом не пользовался. А что касается наших задач, то у них могут быть самые разные условия, главное, чтобы с их помощью можно было оценить интеллект.

В. И. Когда он мне так сказал, у меня пропал интерес с ним беседовать, и я, чтобы отвязаться, сказал: «У нас в доме многие, особенно кто на сидячей работе, вверх пешком идут, для зарядки».

И. И. Вот видите, Василий Иванович, какой неинтересный ответ Вы придумали! А надо было эту задачу

решить так: «Карлик может дотянуться только до кнопки десятого этажа!» Это очень правильный, умный ответ и хорошо отдает шуткой! Если бы Вы сообразили ответить так правильно и умно, то это было бы на все 100!

В. И. Точно, его слова!

И. И. Мы оба с ним одинаково умные. А из-за чего Вы поскандалили?

В. И. Когда я услышал этот ответ, то сначала засмеялся.

И. И. Ну вот, сами видите, какой умный и смешной ответ.

В. И. А потом спрашиваю: «А сколько этажей в небоскребе, где карлик живет?»

И. И. Для задачи это не имеет значения.

В. И. Ну, знаете, это надо быть круглым дураком, чтобы такую задачу сочинять.

И. И. Почему это? Почему?

В. И. Значит, вы думаете, что на пульте лифта в самом деле все кнопки поставлены в один ряд, одна над другой? Да? А если небоскреб в 100 этажей? Ведь между кнопками надо дать расстояние сантиметра два, не меньше, для удобства пассажиров! Значит, если кнопку 2-го этажа установить даже у самого пола, то верхняя будет на высоте двух метров? Конструктора такого пульта с работы прогонят еще до того, как он свой проект закончит.

И. И. А как же быть?

В. И. Он так и спросил! А я уже совсем рассердился и говорю: «Соображать надо!» Ну уж если не тому, кто такие задачи сочиняет или кто такие пульты делает, то хотя бы Вашему карлику! Один раз сел в лифт, не сумел дотянуться до кнопки, и попросить некого — пошел пешком, второй раз сел — опять один, третий раз — снова один. Ну достань свою шариковую ручку и дотянись, нажми нужную кнопку. Или в следующий раз попроси лифтера, он в кабине палочку привяжет на веревочке.

И. И. Да, правильно! Ведь тогда к росту карлика добавится длина палочки! Вот здорово! Но как же так? С Вашим коэффициентом и вдруг такое нетривиальное решение? Это очень нехорошо с Вашей стороны. Вы портите статистику, нарушаете алгоритмы!

В. И. Вот и доктор тоже раскричался: «Вам, — кри-

чит, — все не то! И условия не те, и лифт не тот, и карлик глупый! Вы не понимаете, что это не строгая задача, это скорее шутка, а вместе с тем она выявляет Ваши познавательные способности, помогает мне оценить Ваш коэффициент! Вы, — кричит, — о таких задачах понятия не имеете!» А я говорю: «Почему не имею? Мне вчера свояк задал задачу не хуже вашей. И тоже про карлика и про транспорт!»

И. И. Какую? Задайте мне, я ее сразу решу!

В. И. Я ему отвечаю: «Пожалуйста! В трамвае народ с работы едет. Теснотища — жуть. Один из пассажиров стоит, держится поднятой рукой за поручень и в этой же руке держит старую сумку. А к нему прижатый стоит карлик. Стоят они спокойно, вдруг карлик облизнулся и говорит соседу: «Вы, — говорит, — соленые огурчики везете? У вас, — говорит, — из сумки капает». А пассажир отвечает: «Нет, мол, я везу не огурчики». Вот вы и решите, что он везет в сумке?

И. И. Какая хорошая задача! Мне так интересно беседовать с вами, Василий Иванович. Можно мне называть вас просто Вася?

В. И. Пожалуйста!

И. И. Строго между нами, Вася, антр-ну, как говорят у нас в лаборатории! Мой коэффициент — 120. Я совершенно на равных общаюсь со всеми нашими кибернетиками. Они знают, о чем меня спрашивать, я знаю, что им отвечать. То же самое бывает, когда я их спрашиваю, а они должны отвечать. Все происходит очень просто и совсем неинтересно.

Однако, как только мне попадается объект с совершенно средним коэффициентом интеллектуальности, так сразу возникают недоразумения. До вас, Вася, у меня была старушка с таким низким коэффициентом, что мне даже стыдно его назвать. А начала старушка с вопроса: «Вы любите животных?»

Вам, Вася, может быть, известно, что по нашим нормам средний интеллект не должен обладать такими сложными чувствами, как любовь. Но ведь старушке этого не объяснишь. Она рассказывает, какая у нее породистая собачка, какая она (собачка) умная, чувствительная, какие медали они (собачка и старушка) получают на выставках. А я ничего этого не знаю и все молчу. Тогда старушка встает и говорит: «Мне очень жаль, но вы не производите на меня впечатления умно-

го или хотя бы интеллигентного человека». С тем и ушла.

До старушки я беседовал со слесарем с одного завода. Он в нерабочее время тренирует дворовую футбольную команду. Стал, понимаете, задавать вопросы о том, как отучить футболистов курить, как выколотить из ЖЭКа форму (этот вопрос я вообще не понял!) и как тренируют своих мальчишек бразильцы (почему именно бразильцы, у нас никто не понял!).

До футболиста был какой-то цветовод. Он оказался очень невыдержанным. Рассказав, что разводит розы, стал спрашивать, знаком ли мне аромат «Вечерней красавицы». Я вынужден был ответить, что не различаю никаких ароматов и не знаю, кому это надо. Тогда он начал кричать, зачем его сюда зазвали и можно ли называть человеком существо, которое не отличает цветок от бидона с керосином.

Был у меня бухгалтер, играющий в любительском духовом оркестре. Я ему рассказал все, что знаю о Бахе, Бетховене, Шостаковиче, Дунаевском. Сначала было очень интересно, но затем он попросил напеть ему мелодию из телефильма «Семнадцать мгновений весны». Как только я пропел первую музыкальную фразу, он прервал меня и откланялся.

В. И. Понятно почему!

И. И. Так каждый раз! А ведь я, Вася, как и Вы, начал с детского уровня. Меня сначала равняли на ребенка. И на том уровне, пока общался с кибернетиками, все шло хорошо. А после первой же встречи с настоящим семилетним ребенком меня сразу решили переделывать на средний интеллект.

В. И. Почему?

И. И. Понимаете, Вася, пришел семилетний мальчишка, пальто нараспашку, и говорит: «Дяденька в халате мне разрешил задать вам вопрос. Скажите, почему моя старшая сестра Лялька застегивает пальто налево, а мне велит застегивать направо? Почему?» Я ему ответил, что так нужно, чтобы отличать мальчиков от девочек.

А потом выяснилось, что все мужчины застегивают пальто направо, а женщины налево. Почему такой разнобой — у нас никто не знает. Ведь для того чтобы отличать женщин от мужчин, есть другие признаки! Ведь правильно, Вася? Ведь верно?

С тех пор детей к нам больше не пускают. А меня думают переделывать на самый высокий коэффициент, чтобы мне общаться только с выдающимися кибернетиками. Представляете, Вася, какая тоска будет? Жуть берет! Да еще грозятся прицепить к какому-то рубильнику. Верите мне, Вася? У меня иногда такое настроение бывает, хоть короткое замыкание себе устраивай!

В. И. Да, верно, верно! У меня так бывает в выходные дни, если себе дела подходящего не придумаю. Советую Вам тоже найти себе занятие по уму, сразу тоска пройдет. Ну, будьте здоровы, мне пора!

И. И. Стойте, стойте! Я решил вашу задачу, Вася! Я знаю, что пассажир трамвая вез в сумке. Он вез соленые помидоры!

В. И. Вот и доктор такое решение предложил.

И. И. А в самом деле? Скажите, Вася, что он вез?

В. И. Щенка он вез, щенка! Как нам свояк рассказал это решение, мы все хохотали до упаду.

И. И. А над чем вы хохотали, Вася, я не понял? Что здесь смешного?

В. И. Доктор тоже не понял, говорит, в этой задаче маловато логики и много эвристики, мол, для теста она не годится. Будьте здоровы! Не вешайте нос! А главное, сами займитесь делом и доктору посоветуйте.

* * *

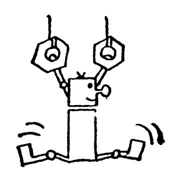
Ну как, дорогой читатель, вам от этих диалогов не делается страшно? Вас жуть не берет? Нет? Ну и правильно, что не берет. Кстати, как по-вашему, каких интеллектуальных оценок заслуживают И. И., В. И. и доктор?

А мы, со своей стороны, в заключение этой книги можем предложить вам интересную умственную игру. Придумайте (конечно, мысленно) себе своего робота. Постарайтесь поточнее оговорить все его механические и интеллектуальные совершенства. Сочините ему задание, представьте себе ситуацию, в которой он должен работать, придумайте принципы, которыми должен руководствоваться.

Затем предоставьте ему действовать в соответствии с его способностями и принципами. Понаблюдайте за ним и убедитесь, что зачастую он будет вести себя со-

всем не так, как, казалось бы, должен. И вам придется многократно менять и его устройство, и его программу, и ситуацию, и сами принципы, прежде чем добьетесь желаемого результата.

В такую игру играют — не в шутку, а всерьез — ученые и инженеры во всем мире — те, кто разрабатывает новые машины и автоматы, новые системы автоматизации, роботы все новых и новых поколений. От результатов этой «игры» во многом зависит уровень научно-технического прогресса общества.



СОДЕРЖАНИЕ

Артоболевский И. И., Кобринский А. Е.

А86 Знакомьтесь — роботы! — 2-е изд. — М.: Мол-гвардия, 1979. — 239 с., ил. — (Эврика).
В пер.: 60 к. 100 000 экз.

В книге рассказано о зарождении и развитии одного из важнейших направлений автоматизации, связанного с появлением нового класса машин — роботов, которые моделируют двигательные функции человека

А $\frac{70302 - 089}{078(02) - 79}$ Без объявл. 2404000000 ББК 32.81 6ФО.1

ИБ № 1986

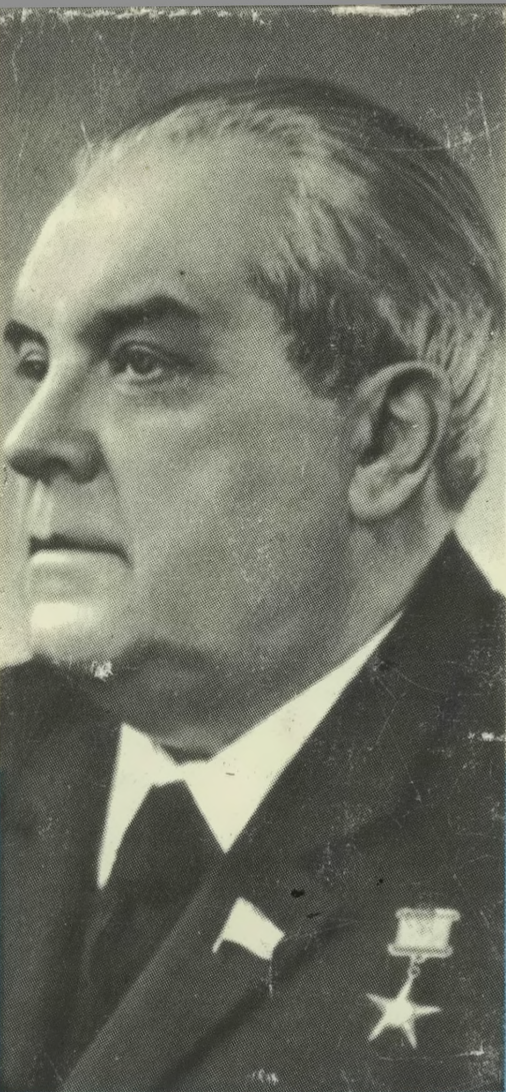
Иван Иванович Артоболевский, Арон Ефимович Кобринский
ЗНАКОМЬТЕСЬ -- РОБОТЫ!

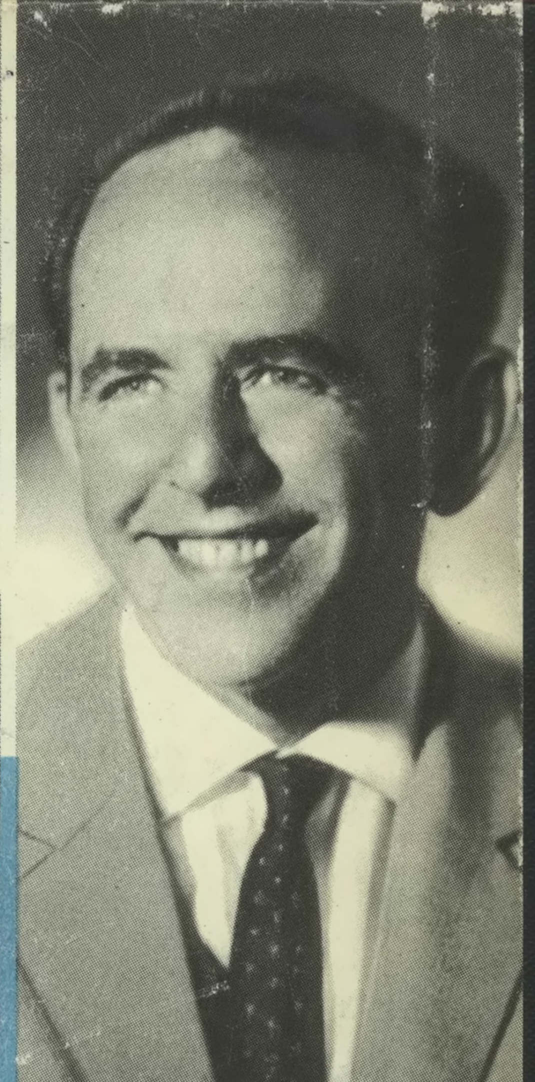
Редактор **В. Федченко**
Художник **В. Ковынев**
Художественный редактор **А. Косаргин**
Технический редактор **Р. Сиголаева**
Корректоры **З. Харитонова, В. Назарова**

Подписано в печать с готовых матриц 13.03.79. А03541. Формат $84 \times 108^1/_{32}$. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Условн. печ. л. 12,6. Учетно-изд. л. 12,8. Тираж 100 000 экз. Цена 60 коп. Заказ № 495.

Типография ордена Трудового Красного Знамени издательства ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес издательства и типографии: 103030, Москва, К-30, Сущевская, 21.

60 коп.





МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ

МОСКВА, 1979

ИВАН ИВАНОВИЧ АРТОБОЛЕВСКИЙ
АРОН ЕФИМОВИЧ КОБРИНСКИЙ

Член Президиума Верховного Совета СССР, Герой Социалистического Труда академик И. Артоболевский — создатель научной школы в области теории механизмов и машин, признанной в Советском Союзе и за рубежом. Его научные интересы связаны с наиболее актуальными проблемами науки и техники, в числе которых синтез механизмов, кибернетика в машиностроении, акустическая динамика и робототехника. Он автор многих монографий и учебников, председатель Всесоюзного общества «Знание», почетный член ряда зарубежных академий и лауреат многих почетных наград, в том числе Международной золотой медали имени Дж. Уатта.

А. Кобринский прошел путь от младшего научного сотрудника до доктора наук, профессора и заведующего лабораторией в лабораторном комплексе академика И. Артоболевского, занимаясь механикой машин, прикладной кибернетикой, робототехникой.

Он автор и участник работ по созданию первых станков с программным управлением, отмеченных Государственной премией СССР, автор и руководитель работ по созданию известной «биоруки» и протеза с биоэлектрическим управлением, также удостоенных Государственной премии СССР, автор ряда монографий, научно-популярных книг и статей.